

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

« ____ » _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології екологічної безпеки»**

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: «Контроль мутності води технологічного призначення»

Виконав:

студент II курсу, групи ПН-391мп

Осипенко Олег Анатолійович _____

Керівник:

Професор, д.т.н.

Шульга Олександр Васильович _____

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

Доцент, д.е.н.,

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант із нормоконтролю:

Доцент, к.т.н.,

Божко Костянтин Михайлович _____

Рецензент:

Старший викладач, к.т.н.,

Богдан Галина Анатоліївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань
Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційні вимірювальні технології екологічної безпеки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту
ОСИПЕНКО ОЛЕГУ АНАТОЛІЙОВИЧУ

1. Тема дисертації «Контроль мутності води технологічного призначення», затверджена наказом по університету від “___” _____ 2020р. № _____
2. Термін здачі оформленої дисертації “3” грудня 2020 р.
3. Об’єктом досліджень є конструктивні особливості вимірювачів придатних для визначення оптичних характеристик мутності досліджуваного водного середовища та апробація методики вимірювання.
4. Предметом дослідження є процес контролю мутності води аналізатором вибраного схемного рішення.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1. Теоретичні дослідження:
 - 5.1.1. Провести характеристику фізико-хімічного складу води як дисперсної вимірювальної фази.
 - 5.1.2. Зробити огляд методик контролю оптичних показників водної дисперсної фази сучасним вимірювальним обладнанням.
 - 5.1.3. Проаналізувати інформативні показники мутності води що використовується в технологічних процесах харчової промисловості.
 - 5.1.4. Виконати огляд вимірювальних засобів що базуються на методиках турбідиметрії та нефелометрії.
 - 5.1.5. Провести аналіз складових компонентів вимірювача мутності води технологічного призначення;
 - 5.2. Експериментальні дослідження:
 - 5.2.1. Обґрунтувати схемне рішення оптичного аналізатору визначення мутності технічних вод методами турбідиметрії.

- 5.2.2. Обґрунтувати вибір фотодетектора придатного до використання у якості первинного перетворювача вимірювального макету для контролю мутності води технологічного призначення;
- 5.2.3. Розробити функцію перетворення аналізатора мутності води із застосуванням фотодіоду якості первинного перетворювача вимірювального макету ІЧ-світлодіоду у якості джерела світла.
- 5.2.4. Провести розрахунок елементів оптичної систем вимірювача мутності.
- 5.2.5. Метрологічне забезпечення вимірювання води технологічного призначення аналізатором вибраного схемного рішення.
- 6.1 Опублікувати 1 статтю в науковому журналі.
- 6.3 Підготувати 1 доповідь із публікацією тез конференції
7. Перелік ілюстративного матеріалу (3 арк.)
- 7.1. Обґрунтування вибору схемного рішення вимірювального засобу придатного для визначення мутності води технологічного призначення.
- 7.2. Функціональна схема аналізатора мутності води.
- 7.3. Структурна схема аналізатора мутності води технологічного призначення.
8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	Шульга О.В., доктор технічних наук, професор	10.09.2019	10.09.2020
Розділ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	Шульга О.В., доктор технічних наук, професор	22.09.2019	22.09.2020
РОЗДІЛ 3. ОБґРУНТУВАННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ АНАЛІЗАТОРУ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТА АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ	Шульга О.В., доктор технічних наук, професор	19.10.2020	19.10.2020
Розділ 4. СТАРТАП ПРОЕКТ «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»	Бояринова К.О., доктор економічних наук, доцент	24.10.2020	24.10.2020

10. Дата видачі завдання 10 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд доступних джерел інформації стосовно об'єкту досліджень та особливостей його аналізу	до 21.09.2020 р.	виконано

2	Проведення аналітичного огляду методик контролю показників забруднення води що застосовується у технологічних процесах, залежно від їх виду.	до 02.10.2020 р.	виконано
3	Проаналізувати інформативні показники мутності води що використовується в технологічних процесах харчової промисловості у якості вхідної сировини	до 17.10.2020 р.	виконано
4	Виконати огляд вимірювальних засобів що базуються на методиках турбідиметрії та нефелометрії.	до 28.10.2020 р.	виконано
5	Провести аналіз складових компонентів вимірювача мутності води технологічного призначення	до 01.11.2020р.	виконано
6	Обґрунтувати схемне рішення оптичного аналізатору визначення мутності технічних вод методами турбідиметрії.	до 04.11.2020р.	виконано
7	Обґрунтувати вибір фотодетектора придатного до використання у якості первинного перетворювача вимірювального макету та провести вибір джерела світла.	до 10.11.2020р.	виконано
8	Метрологічне забезпечення аналізатору мутності води технологічного призначення	до 15.11.2020р.	виконано
9	Підведення підсумків та оформлення роботи в цілому	до 22.11.2020р.	виконано
10	Написання реферату до роботи	до 27.11.2020 р.	виконано
11	Перевірка роботи керівником та проходження нормоконтролю	до 02.12.2020 р.	виконано

Студент

Науковий керівник

Олег ОСИПЕНКО

Олександр ШУЛЬГА

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Показники мутності води, що застосовується в побуті та різноманітних технологічних процесах, спричинена наявністю зважених часток різної природи та походження у дисперсній водній фазі. Дані частки можуть бути представлені нерозчинними та колоїдними сполуками органічного та мінерального походження.

Суб'єктивний аналіз води проводиться описово – визначаються органолептичні показники води, смак, запах, опалесценція та кольоровість водного середовища. Інтенсивність забарвлення води що обумовлена вмістом барвників та колоїдних часток визначають в градусах платиново-кобальтової шкали методом візуального порівняння із зразком або за допомогою колориметра. Проведення даних вимірів дозволяє емпірично підібрати оптимальний діапазон довжин хвиль λ випромінювання пропускання або розсіювання для подальших турбідиметричних або нефелометричних досліджень.

Об'єктивний аналіз води технологічного призначення, у випадку застосування у технологічних процесах харчової промисловості, доцільно проводити оптичними фотометричними інструментальними методиками. Застосування фотометрії, як безконтактного методу контролю водного середовища, дозволяє нівелювати вплив вимірювальних засобів на об'єкт контролю та може бути проведений безпосередньо у конкретному виробничому процесі.

Значення мутності води, що застосовується безпосередньо у виробництві харчової продукції, повинна складати не більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$ по каоліну відповідно до методики контролю ДСТУ ISO 7027:2003 «Якість води. Визначання каламутності» [4]. Для проведення вимірів застосовують засоби та методи турбідиметрії та нефелометрії водних розчинів, порівнюючи зразки води із стандартними зразками мутності. Отримані результати виражають в одиницях мутності, вид яких вибирають залежно від типу інструментального забезпечення вимірів. На даний момент часу

переважаючими одиницями виразу мутності води є нефелометричні одиниці мутності (NTU). Якщо виявляється розбіжність в точності стандарту мутності або методиці застосування вимірювача, то судити про роботу приладу дозволяє тільки первинний стандарт, яким на даний момент є первинні зразки формазину заданої концентрації. Формазин є єдиним первинним стандартом в методиках вимірювання мутності світлопрозорих середовищ, а всі інші стандарти приводяться до формазину.

Метою даного дослідження є удосконалення методики контролю мутності води технологічного призначення для визначення якості технологічної води методами турбідиметрії та нефелометрії.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

- провести дослідження фізико-хімічного складу води як дисперсної вимірювальної фази;
- провести огляд методик контролю оптичних показників водної дисперсної фази сучасним вимірювальним обладнанням;
- обґрунтувати схемні рішення оптичного аналізатору визначення мутності технічних вод методами турбідиметрії;
- провести аналіз складових компонентів вимірювача мутності води технологічного призначення;
- обґрунтувати вибір фотодетектора придатного до використання у якості первинного перетворювача вимірювального макету для контролю мутності води технологічного призначення;
- розглянути методику вимірювань мутності води технологічного призначення із застосуванням фотодетектору в якості первинного перетворювача.

Об'єктом досліджень є дослідження конструктивних особливостей аналізатора придатного для визначення оптичних характеристик мутності досліджуваного водного середовища

Предметом дослідження є процес контролю мутності води аналізатором вибраного схемного рішення. Вимірюючи інтенсивність поглинання у водній фазі можна визначити відносний показник забруднення води та мутність водного розчину.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні контролю мутності води технологічного призначення придатної до застосування в технологічних процесах харчової промисловості. Розглянуто схемне рішення аналізатору в ІЧ-області довжин хвиль для контролю мутності води за методикою турбідиметрії та апробовано методику його застосування.

Практична цінність. Розглянутий вимірювач мутності води та розроблена для нього методика аналізу наявних у воді твердих домішок придатна для застосування у виробничих процесах харчової промисловості, та забезпечує якісний аналіз води що є вхідною сировиною у технологічних процесах.

Апробація роботи. Прийнято участь у міжнародній науково-практичній конференції із публікацією тез та опубліковано статтю в профільному науковому журналі.

1. Осипенко О.А. Контроль мутності води технологічного призначення/ О.А. Осипенко, Д.С. Сопружинський, Д.А. Коваленко // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 08-09 грудня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.184-188.

2. Артемчук В.І.Актуальність біоенергетичного виробництва метану в Україні / В.І. Артемчук, В.В. Юник, О.А. Осипенко // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 08-09 грудня 2020 року., Київ, Україна, 2020. С.160-166.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, 23 рисунків, 10 таблиць, списку використаних джерел із 32 позицій. Загальний обсяг роботи – 104 сторінки, з яких основна частина викладена на 101 сторінці.

Ключові слова: контроль мутності, вода, водопідготовка, зважені частки, забруднення води, нефелометрія, турбідиметрія, кількісний оптичний аналіз, одиниці мутності.

ABSTRACT

Actuality of theme. Indicators of turbidity of water used in everyday life and various technological processes, caused by the presence of suspended particles of different nature and origin in the dispersed aqueous phase. These particles can be represented by insoluble and colloidal compounds of organic and mineral origin.

Subjective analysis of water is carried out descriptively - the organoleptic characteristics of water, taste, smell, opalescence and color of the aquatic environment are determined. The intensity of water color due to the content of dyes and colloidal particles is derived in degrees of platinum-cobalt scale by visual comparison with the sample or using a colorimeter. Carrying out these measurements allows us to empirically select the optimal range of wavelengths λ of transmission or scattering radiation for further turbidimetric or nephelometric studies.

Objective analysis of water of technological purpose, in case of application in technological processes of the food industry, it is expedient to carry out optical photometric instrumental techniques. The use of photometry as a non-contact method of control of the aquatic environment allows to level the influence of measuring instruments on the object of control and can be carried out directly in a specific production process.

The value of turbidity of water used directly in food production should be more than 1.5 mg / dm³ of kaolin in accordance with the method of control DSTU ISO 7027: 2003 "Water quality. Determination of turbidity ". Means and methods of turbidimetry and nephelometry of aqueous solutions are used for measurements, comparing water samples with standard turbidity samples. The obtained results are expressed in units of turbidity, the type of which is chosen depending on the type of instrumental support of measurements. At the moment, the predominant units of expression of water turbidity are nephelometric turbidity units (NTUs). Formazin

is the only primary standard in methods for measuring the turbidity of translucent media, and all other standards are reduced to formazin.

The purpose of this study is to improve the method of control of turbidity of water for technological purposes to determine the quality of technical water by methods of turbidimetry and nephelometry

To achieve this goal, the following **tasks** were formulated:

- to study the physico-chemical composition of water as a dispersed measuring phase;
- to review the methods of control of optical parameters of the aqueous dispersed phase by modern measuring equipment;
- to substantiate the circuit solutions of the optical analyzer for determining the turbidity of technical waters by turbidimetry;
- to analyze the components of the water turbidity meter for technological purposes;
- substantiate the choice of a photodetector suitable for use as a primary transducer measuring model to control the turbidity of water for technological purposes;
- to develop a method of measuring the turbidity of technical waters using a photodetector of the quality of the primary converter of the measuring model.

The object of research is to study the design features of the analyzer suitable for determining the optical characteristics of the turbidity of the studied aquatic environment

The subject of the study is the process of water turbidity control by the analyzer of the selected circuit solution. By measuring the intensity of absorption in the aqueous phase, you can determine the relative rate of water pollution and turbidity of the aqueous solution.

The scientific novelty of the work is to improve the control of turbidity of technological water suitable for use in technological processes of the food industry. The circuit solution of the analyzer in the IR region of wavelengths for water

turbidity control by the method of turbidimetry is considered and the method of its application is tested.

Practical value. The considered water turbidity meter and the method of analysis of solid impurities present in water developed for it are suitable for application in production processes of the food industry, and provide qualitative analysis of water which is an input raw material in technological processes.

Approbation of work. Participated in an international scientific-practical conference with the publication of abstracts and published articles in a specialized scientific journal.

1. Osipenko O.A. Control of water turbidity of technological purpose / O.A. Osipenko, D.S. Sopruzhinsky, D.A. Kovalenko // Proceedings of the XVI All-Ukrainian scientific-practical conference "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making", PBF, KPI. Igor Sikorsky, December 8-09, 2020., Kyiv, Ukraine, 2020. P.184-188.

2. Artemchuk V.I. The relevance of bioenergy methane production in Ukraine / V.I Artemchuk. Артемчук, В.В. Їнюк, О.А. Осипенко // Proceedings of the XVI All-Ukrainian scientific-practical conference "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making", PBF, KPI. Igor Sikorsky, December 8-09, 2020., Kyiv, Ukraine, 2020. P.160-166.

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, 23 figures, 10 tables, a list of used sources from 32 positions. The total volume of the work is 104 pages, of which the main part is set out on 102 pages.

Key words: turbidity control, water, water treatment, suspended particles, water pollution, nephelometry, turbidimetry, quantitative optical analysis, turbidity units.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	14
1.1. Фізико-хімічні уявлення про воду як дисперсну систему.....	14
1.2. Стандарти мутності придатні для контролю води технологічного призначення.....	17
1.3. Застосування різних одиниць мутності води.....	21
1.4. Особливості методик вимірювання мутності за різними стандартами..	22
Висновки до розділу 1.....	24
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	26
2.1. Оцінка показників води технологічного призначення.....	27
2.2. Характеристика оптичних методів контролю показників мутності.....	28
2.3. Основні засади розсіювання і поглинання світлового потоку в методиці фотометрії водних розчинів.....	30
2.4. Визначення інформативних складових випромінювання в методиці фотометрії водних розчинів.....	32
2.5. Інструментальне забезпечення методик вимірювання мутності води технологічного призначення.....	35
2.6. Огляд технічних особливостей вимірювачів мутності води технологічного призначення вибраних схемних рішень.....	39
Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ АНАЛІЗАТОРУ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТА АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ.....	44
3.1. Вибір схемного рішення аналізатору мутності для застосування у технологічних процесах харчової промисловості.....	45

3.2. Обґрунтування вибору джерела випромінювання вимірювача мутності води технологічного призначення.....	50
3.2.1. Спектральні характеристики джерела випромінювання.....	50
3.2.2. Імпульсні властивості джерела випромінювання.....	52
3.2.3. Вибір джерела випромінювання як елементу електричного кола.....	54
3.3. Вибір матеріалу кювети та ємності стандарту мутності.....	57
3.4. Обґрунтування вибору фотоприймача вимірювача мутності.....	60
3.4.1. Фізичні характеристики напівпровідникових фотоприймачів.....	60
3.4.2. Вибір спектрального діапазону роботи фотодетектору.....	62
3.5. Обґрунтування та розрахунок параметрів оптичної системи.....	64
3.6. Технічні характеристики світлорозділяючого скла.....	8
3.7. Розрахунок електричних параметрів аналізатору мутності води технологічного призначення.....	69
3.8. Розробка функції перетворення аналізатору мутності.....	71
3.9. Оцінка похибок функції перетворення.....	72
3.10. Метрологічне забезпечення проведення вимірів.....	74
Висновки до розділу 3.....	78
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»	
4.1 Опис ідеї проекту.....	80
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	83
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	85
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	91
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	93
4.6 Висновки до розділу 4.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101

ВСТУП

Завдання контролю показників води є одним із ключових етапів в технологічних процесах виготовлення широкого спектру продукції. В сфері харчової промисловості особливо важливим є аналіз показників дисперсності водної фази та визначення бактеріологічного забруднення води, у випадку якщо вони є вхідною сировиною. При цьому враховуються сильні міжмолекулярні взаємодії у воді що здійснюють глибокий ефект на всі властивості води, включно із її спектральними властивостями.

Одним із ключових показників якості води технологічного призначення є контроль наявності завислих у водній фазі механічних домішок: твердих мілкодисперсних часток, крапельок неполярних розчинів, барвників, мікроорганізмів, і інших дрібних частинок. Кількість зважених у воді речовин та їх природа походження знаходиться в широких межах, що вимагає обґрунтування методів та засобів об'єктивного контролю мутності водного розчину. Серед усієї сукупності оптичних методів вимірювання показників мутності води технологічного призначення можна виділити 2 основних методики: турбідиметрії та нефелометрії.

Турбідиметрія застосовує принципи фотометрії, що дозволяє визначити відносний показник поглинання світла в середовищі дослідження. При цьому потрібно дотримуватися вимоги розташування джерела випромінювання, оптичної формуючої системи, зразка та фотодетектору на одній осі, із мінімальними відхиленнями у межах $\leq 1^\circ$. При освітленні зразка світловим потоком що має інтенсивність I_0 , вимірюють інтенсивність випромінювання I_t що пройшло через пробу.

Методика нефелометрії використовує принципи світлорозсіювання під вибраним кутом до осі світлового потоку I_0 випромінювача, що проходить через зразок. Найчастіше вимірювання проводять під кутом 90° до нормалі світлового потоку (I_{90}). При збільшенні кількості часток у зразку відношення I_t/I_0 зменшується, а відношення I_{90}/I_0 збільшуються.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Сильні міжмолекулярні взаємодії у воді здійснюють глибокий ефект на всі властивості води, включно із її спектральними властивостями. Воду залежно від ступеня прозорості умовно підрозділяють на прозору, слабоопалесціюючу, опалесціюючу, злегка каламутну, каламутну, сильно каламутну. Кількість зважених у воді речовин та їх природа походження знаходиться в широких межах. Даним дослідженням завжди приділяють першочергову увагу при будь-яких фізико-хімічних перетвореннях водної дисперсної фази.

В загальному випадку воду, що застосовується у технологічних процесах поділяють на воду що може виступати сировиною та воду що може контактувати з обладнанням та використовується в допоміжних виробничих циклах. У випадку застосування води у сфері харчової промисловості необхідним є дотримання якості води відповідно до державного стандарту на питну воду.

Якщо вода використовується як вихідна сировина для виробництва продуктів харчування, застосовуються внутрішні стандарти якості відповідно до конкретного технологічного процесу, що дозволяє отримати продукт із якісними органолептичними властивостями та, збільшити термін його зберігання. Для забезпечення даних умов необхідно проводити об'єктивний контроль води що за допомогою інструментального обладнання що базується на фізичних, фізико-хімічних, та лабораторних хімічних методах досліджень.

1.1. Фізико-хімічні уявлення про воду як дисперсну систему

Водна молекула H_2O – має унікальну геометрію, структуру рівнобедреного трикутника з кутом між валентними зв'язками, рівними $104,6^\circ$ [8]. Вершину трикутника займає кисень, а два атома водню лежать в

його основі. Оскільки відштовхування неподеленої і зв'язуючої електронних пар сильніше, ніж двох зв'язуючих, кут між валентними зв'язками $H-O$ трохи менше, ніж в правильному тетраедра $109,5^\circ$. Для найближчого гомолога H_2S кут молекули дорівнює - 92° , кут молекул H_2Se і H_2F становлять 90° . У незбудженому стані відстань між іонами H і O рівні $0,96 \text{ \AA}$ (рис 1.1 та 1.2) [1].

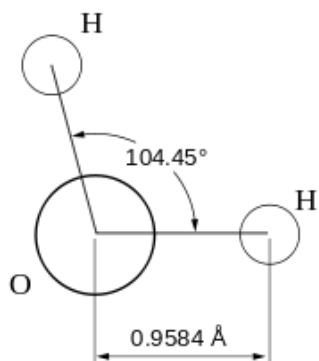


Рис. 1.1 – Структурна
молекулярна формула води

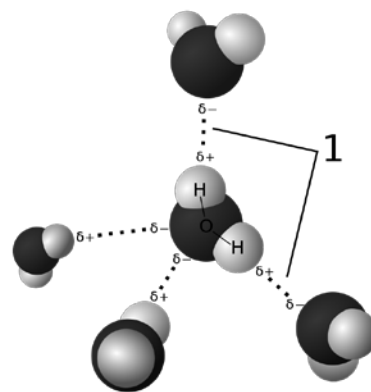


Рис. 1.2 – Спрощена
просторова модель формування
водневих зв'язків між молекулами
води

Завдяки такій будові молекула води є диполем, оскільки електронна щільність в області розташування іона O^{2-} значно вище, ніж в області іонів H . Дипольний момент молекули води $1,87$ дебая [3]. Діелектрична проникність води найвища з усіх відомих сполук (приблизно 81 при кімнатній температурі).

Сила тяжіння або відштовхування електричних зарядів обернено пропорційна діелектричній проникності середовища, що оточує дані заряди. І це означає, що два протилежні електричні заряди взаємно притягуються у воді з силою, рівною $1/81$ сили їх взаємного тяжіння в повітрі або у вакуумі.

Таким чином, тільки в системі молекул H_2O водневі зв'язки повністю визначають геометрію кристалів і властивості рідкої води [6].

Завдяки наявності в молекулі води некомпенсованих електричних зарядів (що характеризують полярність молекул води) виникає явище об'єднання молекул води в агломерати – асоціати різного ступеня складності,

склад яких можна описати загальною формулою (H_2O) [4]. Безпосередньою причиною утворення асоціатів є водневі зв'язки. Унаслідок енерго-, тепло- і масообміну води з навколишнім середовищем водневі зв'язки між молекулами води легко руйнуються і виникають знову (рис. 1.3).

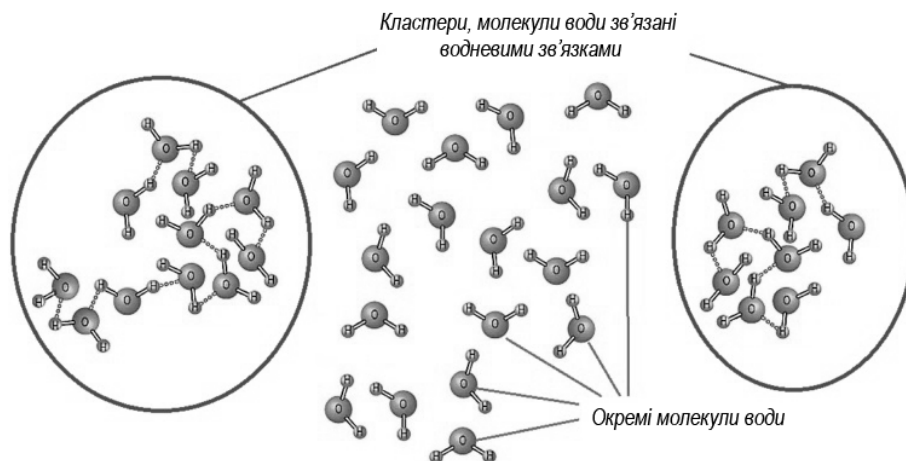


Рис. 1.3 – Кластерна будова агрегатів водної дисперсної фази [6]

В кожній молекулі води є електронні орбіталі що утворюють форму правильного тетраедра. Водневі зв'язки, що присутні в міжмолекулярній взаємодії забезпечують просторове розміщення молекул води у вигляді асоціатів що мають координовану структуру [32]. Тому, наочною моделлю води є правильний тетраедр, в центрі якого знаходиться атом кисню, в двох вершинах (відповідних атомам водню) розташовані позитивні точкові заряди, а в двох інших - негативні заряди, що зображують розподіл електронної щільності на атомі кисню.

Каламутність може утворюватися завдяки наявності в воді органічних або неорганічних завислих речовин. Зважені речовини виявляються в H_2O в результаті розчинення твердих частинок, наприклад, піску, глини, мулистих речовин або лесу. Також підвищення каламутності може бути викликано і виділенням певних карбонатів, марганцю, гідроксидів алюмінію, молекулярних органічних сполук гумусового походження, появою фітопланктону або зоопланктону, а також окисленням сполук заліза, скиданням неочищених виробничих стічних вод [10]. У багатьох випадках

«муть» осідає на дно у вигляді осаду, що не стосується випадків найдрібніших колоїдних домішок. Гранулометричний склад зважених речовин буває абсолютно різним: великим, середнім і дрібним. Єдиним дієвим методом в боротьбі з мутністю є фільтрація.

Рідини можуть містити зважену тверду речовину, що складається з частинок різних розмірів. Хоча деякий суспендований матеріал буде достатньо великим і досить важким, щоб швидко осісти на дно ємності, якщо залишити рідкий зразок (тверді речовини), дуже дрібні частинки осідатимуть лише дуже повільно або зовсім не будуть, якщо зразок буде регулярно перемішуються або якщо частинки колоїдні. Ці дрібні тверді частинки призводять до того, що рідина стає каламутною [28].

Для контролю прозорості води у використовують диск Секки який опускають у воду. Глибина на якій диск перестає бути помітним – відповідає відносному показнику мутності води. Також застосовують шрифтові пробники. По якості розрізнення шрифту на білій пластині, залежно від висоти стовпчика води, що знаходиться на ній, розрізняють відносний показник мутності середовища. Для дослідження використовується шрифт висотою 3,5 мм, напівжирний. Результати виражаються в сантиметрах водного стовпчика. Таке вимірювання приводить до більшого поглинання сонячної енергії поблизу поверхні [9].

Рівень каламутності води у побуті та у різних сферах промисловості оцінюється по прозорості, наскільки вона здатна пропускати і поглинати світло вибраного діапазону довжин хвиль. Для питної води є установлення максимального значення зважених часток в 1,5 мг/л.

1.2. Стандарти мутності придатні для контролю води технологічного призначення

В 1926 році дослідниками Кінгсбері і Кларк було розроблено формазин. Дана сполука є ефективною вихідною складовою при пригоування

зразків мутності. Для приготування формазину вимагається розчинити точне навішування 5,00 г сульфати гідразину і 5000г гексаметилентетраміна в одному літрі дистильованої води (рис. 1.3) [7].

Розчин стає каламутним після вистоювання протягом 48 годин при 25°C. При ідеальних температурних умовах і освітленні ця суміш може бути приготована багато разів, забезпечуючи точність зразка на рівні $\pm 1\%$. Особливістю формазину є можливість його приготування із початкових речовин. Він є єдиним стандартом мутності який можна відтворити. Інші стандарти (що є вторинними або альтернативними) контролюють відносно формазину. Первинні стандарти мутності одержані прямим синтезом суспензії формазину прийняті в лабораторному контролі та галузях промисловості.

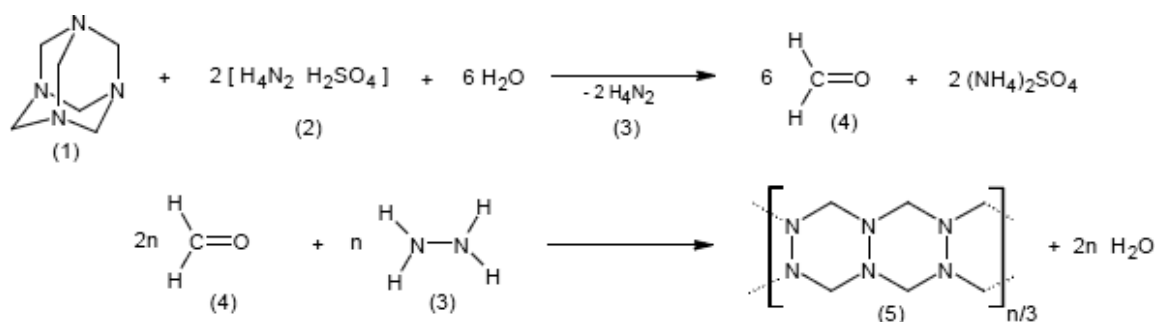


Рис. 1.4. Технологічна схема синтезу формазину [8].

Головними перевагами формазину при використанні в якості стандарту для аналізу мутності є наступні:

- можливість синтезу із початкових речовин які можна контролювати;
- він має фізичні властивості що забезпечують створення стандарту мутності водного середовища;
- є полімером, що складається з мономерів що мають різну довжину, та конфігурацію згортки, що забезпечує великий розмірний діапазон часток розмірами від 0,1 до 10 мкм більше.

Завдяки добрій відтворності розсіяння білого світла у формазиновій суспензії, прилади використовуючі як джерело світла лампу розжарювання, калібруються з високою точністю і доброю відтворністю. Різноманіття форм

і розмірів частинок в стандартах на основі формази́на приводить до статистично відтворного розсіяння світла в турбідиметрах всіх типів і моделей. Завдяки відтворності розсіяння і можливості контролювати процес приготування формази́ну, способи калібрування турбідиметрів і критерії ефективності були приведені до даного стандарту [25].

Дослідження розподілу частинок за розмірами показують нерегулярний розподіл в різних стандартах, але статистика нефелометричних визначень відтворна. Таке різноманіття форм і розмірів частинок добре аналітично поєднується з можливими розмірами і формами частинок в реальних зразках.

В 1955 від виразу каламутності в мільйонних частках кремнезему остаточно відмовилися і 10-е і подальші видання «Стандартних методів» (Standard Methods) описують мутність в термінах розсіяння світла на зважених частинках. Терміни «мільйонна частка» і «кремнеземна шкала» скасували, а каламутність стали виражати просто в «одиницях каламутності». Після ухвалення формази́ну як зразкового первинного стандарту, одиниці мутності стали називати одиницями мутності по формази́ну - ОМФ (formazin turbidity units - FTU). Першими як первинний стандарт мутності формази́н стала використовувати Американська Асоціація Охорони Здоров'я (APHA) і Американська Асоціація підприємств водного господарства (AWWA) в 13-му виданні Стандартних методик дослідження води і стоків (Standard Methods for Examination Water and Wastewater). Американське Управління з охорони довкілля (USEPA) визначає первинний стандарт трохи інакше, використовуючи терміни відповідаючі стандартам представлення результатів USEPA.

Поняття стандарту в турбідиметрії дещо розмито через відмінності у визначеннях, якими користуються USEPA, APHA, AWWA і тими, які приведені в «Стандартних методах». В 19-м виданні «Стандартних методів» для ясності були введені поняття «первинний стандарт» і «вторинний стандарт». Первинний стандарт визначений в них як прецизійний стандарт, який готується користувачем, з контрольованих початкових речовин, за

контрольованих умов навколишнього середовища. В турбідиметрії єдиним стандартом, відповідаючим даним вимогам є формазин, що готується безпосередньо на лабораторному столі [29].

«Стандартні методи» визначають вторинний стандарт, як стандарт виробника (або незалежної перевіряючої організації), такий, що калібрування приладу за цим стандартом дає (в певних межах) результати, еквівалентні тим які дають калібрування за стандартом формазину, приготовлені користувачем. Існують різні види вторинних стандартів, включаючи промисловий асортимент суспензій формазину 4000 NTU, стабілізовані суспензії формазину і промислові суспензії мікросфери сополімера стиролу і дивініл бензолу [7]. «Стандарти» для перевірки калібрування приладу, що поставляються виробником, наприклад, запечатані осередки, наповнені суспензією латексу або частинками оксиду металу в гелеподібному полімері, дуже зручні щоб з їх допомогою перевіряти працездатність приладу між калібруваннями, але не придатні для проведення калібрувань приладу.

Якщо виявляється розбіжність в точності стандарту або приладу, то судити про роботу приладу дозволяє тільки первинний стандарт (тобто виготовлений користувачем формазин). Формазин - це єдиний первинний стандарт в турбідиметрії а всі інші стандарти приводяться до формазину.

Визначення, що використовуються USEPA, відрізняються від тих, які приведені в «Стандартних методах». В даний час USEPA визнає виготовлений користувачем формазин, промисловий асортимент суспензій формазину, стабілізовані суспензії формазину StabCal™ і промислові суспензії стироладивінілбензола (звані також «альтернативними стандартами») як первинні стандарти, придатні для представлення звітів. Термін «вторинний» USEPA використовує для «стандартів», по яких перевіряється калібрування приладу. При такому визначенні первинний стандарт не контролюється і застосований тільки для представлення звітів USEPA [18].

За визначенням USEPA вторинні стандарти, після того, як їх властивості встановлені по формазину, використовуються для перевірки

калібрування турбідимтера. Проте, ці стандарти не можна використовувати для калібрування приладів. Дані стандарти, такі як гелі з оксидами металів, суспензії латексу, і всі стандарти зрівняння розроблені для щоденного контролю калібрування приладу.

1.3. Застосування різних одиниць мутності води

Як правило, реальну інформацію про метод вимірювання мутності води можна отримати тільки вивчивши технічні характеристики приладу. На жаль, практика достатньо довільного маніпулювання позначеннями, що використовуються, характерна не тільки для багатьох аналітиків, але і для авторитетних виробників. Дуже часто індекси в позначеннях одиниць опускаються, і тому вказана одиниця в більшості випадків може служити лише орієнтиром.

Так, наприклад, в моделях мутномірів HI93701 (HANNA Instruments) і Turb355IR (WTW) замість одиниць FNU указуються одиниці NTU (Набл. 1.2). З формальної точки зору, отримані значення FNU не можна прирівнювати до NTU оскільки характеристики розсіяння білого світла істотно відрізняються від розсіяння монохроматичного випромінювання в ближній ІК-області. Крім відмінностей в джерелах стандарти USEPA і ISO мають місце ще цілий ряд відмінностей в методиці проведення вимірювань що наведено в таблиці 1.1 [23].

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика стандартів вимірювання мутності води за допомогою мутномірів HI93701 (HANNA Instruments) і Turb355IR [23]

Параметр	USEPA 180.1	ISO 7027
Спектральний діапазон	Вольфрамова лампа с температурою кольору 2200 - 3000°K	860 нм
Ширина спектральної лінії	не визначено	60 нм с конусом розходження не більше 1.5 градуса
Кут виміру	90° ± 30°	90° ± 2.5°

Продовження таблиці 1.1

Апертурний кут	не визначено	от 20° до 30°
Відстань, яку проходить світло в зразку (ширина кюветного відділення вимінювача мутності)	10 см	не визначено
Калібруючі стандарти	Формазвн або АЕРА-1	Формазин

Таблиця 1.2. Застосування стандартів мутності в мутномірах провідних виробників (*одиниці, що відображаються, не відповідають загальноприйнятим стандартам) [18]

HANNA	<u>HI 93703</u>	FTU/NTU* (реально FNU), 0.00 - 1000 FTU (реально від 0.5 FTU)
WTW	<u>Turb355IR</u>	NTU* (реально FNU), 0.01 - 1000 NTU (реально від 0.05 FTU)
	<u>Turb550</u>	NTU, 0.01 - 1000 NTU
	<u>Turb550IR</u>	NTU*, FNU, 0.01 - 1000 NTU
	<u>Turb555</u>	NTU, EBC, Nephelo, 0.0001 - 10000 NTU
	<u>Turb555IR</u>	NTU*, EBC*, FNU, FAU, 0.0001 - 10000 NTU
HACH	<u>2100P</u>	NTU, 0.01-1100 NTU
	<u>2100P-ISO</u>	FNU, 0.01-1000 NTU
	<u>2100N</u>	NTU, EBC, Nephelo, 0.001 - 4000 NTU
	<u>2100N-IS</u>	NTU*, EBC*, FNU, FAU, 0.001 - 4000 NTU
	<u>2100AN</u>	NTU, EBC, Nephelo, 0.001 - 10000 NTU
	<u>2100AN-IS</u>	NTU*, EBC*, FNU, FAU, 0.001 - 10000 NTU

До переваг стандарту ISO можна віднести те, що він додатково включає нормативи вимірювання мутності з використанням декількох детекторів (в першу чергу детектор проходячого світла), тоді як USEPA припускає використання тільки «чистої» нефелометрії, що фактично обмежує його область застосування діапазоном 0-40 NTU.

1.4. Особливості методик вимірювання мутності за різними стандартами

Існують дві різні методики визначення мутності: американська, Standard Method 2130 і Європейська- ICO 7027. Обидві методики розроблено

для роботи з пробами води з низькою мутністю і малим впливом забарвлення [25]. Проте, існує ряд прикладів, коли користуючись даними методиками неможливо визначити мутність зразків точно і з високою чутливістю. Як правило, це речовини мають або сильно забарвлену матрицю, або забарвлені частинки суспензії, або те і інше. Крім того речовина може флуоресціювати, а частинки можуть бути практично однакового розміру. Подібні властивості вносять велику помилку в результат і помітно погіршують характеристики приведених методик. Подібними властивостями володіють, наприклад різні напої, смоли, стічні води деревообробних підприємств, освітлені масла, колонії бактерій в агарах і т.д. Це мала частина величезного переліку можливих застосувань. При визначенні мутності по Стандартному методу 2130 використовується джерело світла з широким спектром - лампа розжарювання.

В турбідиметрі світло може проходити через інтерференційний фільтр для отримання світла заданої довжини хвилі. Використання фільтрів дозволяє повністю виключити вплив забарвлення і помітно поліпшити чутливість приладу.

Далі, зразки, що мають флуоресценцією, яка може приводити до завищення свідчень вимагають використання альтернативних джерел світла. І, нарешті, визначення мутності в середовищах, що містять вкрай забарвлені частинки, настільки дрібні, що турбідиметр до них не чутливий також вимагає оптимізації з використанням альтернативним джерелом світла.

Для того, щоб визначити спектр забарвлення проби і вплив забарвлення на характеристики приладу, вимагається провести спектральне сканування. За наслідками сканування можливо визначити довжини хвиль, на яких присутні перешкоди і вибрати для визначення мутності оптимальне значення довжини хвилі. Якщо в пробі містяться дрібні частинки, то слід вибрати в короткохвильовій області лінії, які не взаємодіють з матрицею. Якщо ж наявність в пробі дрібних частинок не передбачається, можливо використовувати довгі хвилі. Вибирати слід, виходячи з даних про поглинання

світла речовиною проб. Вибираючи відповідний фільтр, слід пам'ятати про спектральні характеристики джерела світла і детекторів.

Трохи іншою є методика контролю мутності води що застосовується в надчистих виробництвах, що має деякі особливі властивості, які можна використовувати при визначенні мутності. Властивості надчистої води приводяться нижче [10]:

1. Значення мутності звичайно від 0,010 до 0,030 NTU при вимірюванні на правильно відкаліброваному лабораторному турбідиметрі з низьким значенням стороннього світла.

2. Світіння мутності стабільні, коливання не більше 0,001 NTU. Якщо світіння плывуть більш, ніж на 0,003 NTU, причина в наявності частинок або пухирців; поступово пухирці йтимуть із зразка і показання стабілізуються.

3. Світіння приладу будуть стабільні при зміні температури зразка.

4. Зразок може бути забарвлений, але буде прозорим. Частинки не повинні бути видні неозброєним оком.

Якщо при визначенні мутності планується використовувати альтернативне значення довжини хвилі, необхідно розуміти, що призначені для користувача методики залежать від властивостей проби і технології підготовки. Якщо вимагається перенести призначену для користувача методику на схожий процес, необхідно заздалегідь уточнити, наскільки вона працездатна і наскільки вона підходить до проб, що цікавлять.

Висновки до розділу 1

Рівень каламутності води у побуті та у різних сферах промисловості оцінюється по прозорості, наскільки вона здатна пропускати і поглинати світло вибраного діапазону довжин хвиль. Для води що може використовуватися у якості вхідної сировини в технологічних процесах виробництва харчової продукції є установлення максимального значення зважених часток в 1,5 мг/л.

В загальному випадку воду, що застосовується у технологічних процесах поділяють на воду що може виступати сировиною та воду що може контактувати з обладнанням та використовується в допоміжних виробничих циклах. У випадку застосування води у сфері харчової промисловості необхідним є дотримання якості води відповідно до державного стандарту на питну воду. Гранулометричний склад зважених речовин буває абсолютно різним: великим, середнім і дрібним.

На даний момент часу переважаючими одиницями виразу мутності води є нефелометричні одиниці мутності (NTU). Щоб вказати різницю між мутністю, визначеною нефелометричним і візуальним способами, результати, отримані першим способом указують в NTU, а інший - в JTU ($1 \text{ JTU} = 4 \text{ NTU}$). Крім того, використовуються терміни FNU (formazin nephelometric unit - нефелометричні одиниці по формазину) і FAU (formazin attenuation unit - одиниці загасання по формазину). FNU застосовується при нефелометричних вимірюваннях, а FAU при вимірюваннях проходячого світла. Всі ці одиниці відносяться до стандартів на основі формазину

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В даний час немає єдиної класифікації інструментальних методів кількісного контролю завислих часток у воді що застосовується в технологічних процесах. Якщо вода придатна до застосування у якості вхідної сировини для виробництва конкретного продукту харчування її об'єктивні фізико-хімічні показники регламентуються відповідно до стандарту ДСТУ ISO 7027:2003 «Якість води. Визначання каламутності» (ISO 7027:1999, IDT) та технологічними картами на конкретний процес.

У випадку, коли вода технологічного призначення використовується для операцій санітарної обробки обладнання що контактує із харчовими продуктами, її показники визначаються сферою застосування та технологічним процесом конкретного підприємства. В загальному, така вода не повинна містити запаху, барвників, та неполярних розчинених речовин, бактерій і відповідати санітарно-гігієнічним нормам технологічного процесу. В той же час, контроль змивних вод дозволяє визначити показники проходження технологічного процесу за залишками речовин що перейшли в змивний розчин, що може характеризувати рівень спрацьованості обладнання та стан проходження вибраного технологічного процесу виробництва харчової продукції.

Крім того, на практиці інструментального хімічного контролю перед подачею проби на вимірювальний прилад (аналізатор мутності) часто застосовуються фізико-хімічні методи контролю, розділення та видалення заважаючих домішок з середовища, що аналізується. В залежності від використаних властивостей аналізованого водного розчину дані методи можна поділити на наступні: електрохімічні, до яких відносяться кондуктометричні, потенціометричні, полярографічні; хімічні, методи десорбції, хроматографії, діалізу та інші, до яких можна віднести гравіметричний аналіз та аналіз по зміні теплопровідності.

2.1. Оцінка показників води технологічного призначення

Рідкі середовища, що є оптично нечистими структурами, прийнято називати каламутними середовищами. Дана характеристика впливає на інтенсивність випромінювання що проходить через досліджуване середовище. Фізико-технічні характеристики мутних середовищ як об'єктів моніторингу визначаються числом, розмірами і формами чужорідних тіл у вигляді частинок або інших механічних включень, їх розподілом в робочому обсязі, температурою, об'ємом, швидкістю і характером циркуляції, навколишнім середовищем. При цьому дані фактори в значній мірі визначають такі фізичні властивості каламутного середовища, як характер розсіювання випромінювання, щільність і інтенсивність випромінювання що пройшло через розчин, розсіяного або відбитого. Способи оціки показників води технологічного призначення наведено на рис. 2.1 [7].



Рис. 2.1 – Способи оцінки стану неоднорідностей води технологічного призначення в автоматизованому моніторингу.

Моніторинг як спосіб оцінки фактичного стану неоднорідних середовищ і технічних вод включає систему спостережень, оцінювання,

контролю, регулювання та керування властивостями і параметрами середовища в зв'язку з впливом певного фактора або групи чинників. При цьому якщо спостереження передбачає тривале відстеження характеру змін середовища в просторово-часових координатах об'єкта, то контроль і регулювання можуть проводитися як нормована технологічна операція, а оперативний контроль, в свою чергу, - в вигляді тест-контролю або експрес-контролю за допомогою мобільних мутномірів з виносними датчиками.

2.2. Характеристика оптичних методів контролю показників мутності

Оптичні методи аналізу складу води засновані на залежності оптичних властивостей рідини (оптичної густини, коефіцієнту заломлення, коефіцієнту відбиття) від концентрації зважених в ній часток. В залежності від використаних при аналізі оптичних властивостей водного розчину оптичні методи поділяються на [13]:

- фотометричні, засновані на поглинанні світла розчином, що аналізується;
- рефрактометричні, засновані на використанні залежності показника заломлення бінарної суміші від її компонентів;
- поляризаційно-оптичні, засновані на взаємодії поляризованого випромінювання з оптично активним середовищем;
- нефелометричні та турбидиметричні, засновані на явищі розсіювання світла в мутних середовищах;
- спектральні, засновані на дослідженні спектрів випромінювання.

На практиці хімічного контролю отримав розповсюдження фотометричний метод аналізу. При цьому відбувається порівняння якісних і кількісних змін світлових потоків, які пройшли аналізуючий та стандартний розчини. По способу вимірювання фотометричні методи поділяються на фотоколориметричні, коли монохроматизація світла відбувається за рахунок

світлофільтрів та спектрофотометричні, коли монохроматизація світла відбувається за допомогою монохроматорів – призменних або з дифракційною ґраткою. Апаратура для фотоколориметричних методів аналізу є простою, що і призвело до їх використання в виробничих автоматичних та лабораторних приладах [14].

Фотоколориметричний аналіз полягає в тому, що визначуваний компонент аналізуючого розчину переводиться за допомогою хімічних реакцій в пофарбоване з'єднання, а потім відбувається вимірювання адсорбції світла цим пофарбованим з'єднанням.

Таким чином, будь – яке колориметричне визначення складається з двох стадій: підготування пофарбованого з'єднання та вимірювання адсорбції світла аналізуючим пофарбованим розчином. Згідно закону Бугера–Бера оптична густина розчину D буде рівною [17]:

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon b C \quad (2.1)$$

де ε - коефіцієнт поглинання, який залежить від довжини хвилі, природи та фізичного стану поглинаючого розчину;

C – концентрація завислих речовини в розчині;

I_0 - інтенсивність падаючого випромінювання;

I - інтенсивність світла, яке пройшло через поглинаюче середовище;

b – товщина поглинаючого шару.

Цей закон є основним в фотометрії і суворо виконується при проходженні через розчин світлового потоку.

Оптичний показник пропускання аналізованого розчину при фотометричному аналізі визначають шляхом порівняння, наприклад, з оптичною густиною стандартних зразків відомої концентрації. Для кількісної оцінки концентрації контролюючої речовини в аналізуючому розчині використовують відповідні прилади –фотометри, попередньо відградуєвані. За результатами градування будують криву, яка виражає для даних, суворо

визначених умов вимірювань залежність оптичної густини від концентрації вимірюючої речовини в розчині.

У випадку забезпечення контролю води придатної до застосування в технологічних процесах харчової промисловості застосовують воду, що має показник мутності по каоліну не більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Для визначення відносного показника мутності застосовують методи та засоби турбідиметрії та нефелометрії та порівнянням проб із стандартними розчинами мутності. Отримані результати визначаються в мг/дм^3 якщо використовується стандарт вимірювання концентрації зважених часток в розчині або в турбідиметричних одиницях мутності (ОМ/дм^3) – NTU.

Важливим аспектом є контроль показників води в конкретному технологічному процесі в проточному варіанті, так як вода що застосовується в технологічних процесах харчової промисловості характеризується мінливим складом і може містити різну природу домішок. Якщо застосовується методика нефелометрії під кутом 90° або застосування багатокутової методики вимірювання світлорозсіювання зважених у воді часток, результати вимірювань виражають в одиницях мутності по формазину (ОМФ або FNU - formazin nephelometric unit). Отримане за методикою значення мутності можна співставити із значенням NTU знаючи принцип роботи вимірювального обладнання та виразити концентрацію домішок в воді у мг/дм^3 .

2.3. Основні засади розсіювання і поглинання світлового потоку в методиці фотометрії водних розчинів

Неоднорідне середовище під дією потоку випромінювання проявляє свої фізико-механічні неоднорідності, що використовується в оптичних методах технологічного контролю. Наявність специфічних включень позначається на потоці випромінювання, що поглинається і розсіюється як середовищем, так і її неоднородностями.

Розсіювання і поглинання світлового потоку представляють динамічний процес перетворення випромінювання при взаємодії з середовищем в

інформативне випромінювання. Ці перетворення характеристик випромінювання протікають як в режимі лінійної оптики, так і при порушенні різних нелінійних явищ в контрольованому середовищі.

Розсіяне світло являє собою сукупність вторинних хвиль, які сприймаються як власне світіння неоднорідного середовища. Теоретично світло розсіюється неоднородностями під деяким кутом в до початкового напрямку поширення потоку інформативний потік Φ_0 наближено визначається з достатньою для практичних розрахунків точністю виразом [15]:

$$\Phi_r = \Phi_0 \cdot \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2 \cdot \frac{NV^2}{\lambda r^2} \cdot (1 + \cos^2 \beta) \quad (2.2)$$

де Φ_0 - потік, що впливає на природне середовище;

n_1, n_2 - коефіцієнти заломлення частинок дисперсної фази і однорідного середовища відповідно;

N - кількість; V - об'єм частинок в досліджуваному розчині;

λ - довжина хвилі;

r - відстань до фотодетектора

Застосовність представлених залежностей світлового потоку обмежується співвідношеннями коефіцієнтів поглинання K_{π} і відбиття $K_{\text{від}}$, а також розмірів частинок і довжини хвилі розсіюваного випромінювання. Для частинок з малими розмірами ослаблення світлового потоку від їх поглинання пропорційно їх обсягу. Тоді отримаємо вираз [12, 15]:

$$\Phi_r = \Phi_0 \cdot K_{\pi} \cdot \frac{NV^2}{\lambda^4} \quad (2.3)$$

Це означає, що при проходженні випромінювання через неоднорідне середовище, ослаблення потоку буде пропорційно кількості речовини, що перекриває потік. При цьому ослаблення випромінювання малою часткою значно перевищує розсіювання [9].

У разі коли розміри частинок порівнянні з довжиною хвилі розсіюється випромінювання, коефіцієнт розсіювання випромінювання частинками радіуса a визначається співвідношенням.

$$\sigma_{(\lambda,a)} = k\pi a^2 \quad (2.4)$$

де k - коефіцієнт, що враховує співвідношення розміру a частинки, довжини хвилі λ і діелектричної проникності матеріалу частинки.

У випадку застосування оптичного кількісного аналізу мутності води технологічного призначення, найбільш інформативним оптичним методом контролю мутності води на просвіт є діапазон ближнього ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі λ близько 880 нм. Вплив кольору води на цій довжині хвилі значно зменшується. Таким чином стає можливим просвітлення шару водного середовища із забезпеченням необхідної чутливості вимірів.

2.4. Визначення інформативних складових випромінювання в методиці фотометрії водних розчинів

У структурі первинної інформації про стан неоднорідного середовища представлені різні інформативні складові потоку випромінювання. Величина потоку, що пройшов через середовище, Φ_{PP} описується виразом [12]:

$$\Phi_{PP} = \Phi_0 \cdot \exp\left(\frac{-3Cl\sigma_{(\lambda,a)}}{4a}\right) \quad (2.4)$$

де C - об'ємна концентрація неоднорідностей;

l - довжина шляху проходження випромінювання через середовище.

Величина розсіяного середовищем потоку Φ_r :

$$\Phi_r = \Phi_0 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-3Cl\sigma_{(\lambda,a)}}{4a}\right) \right] \quad (2.5)$$

Потік, що розсіюється в деякому тілесному куті описується виразом [2]:

$$\Phi_\Omega = \Phi_r \cdot f_{(\lambda,a)}(\Omega) \quad (2.6)$$

де $f_{(\lambda,0)}$ – розрахунковий параметр, який визначається з індикатриси розсіювання.

У неоднорідних середовищах з неоднорідностями різних типорозмірів світловий потік в сумарному вигляді описується виразом [2, 12]:

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_0 \cdot \exp\left(-\frac{3}{4} \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{a_i} \cdot I\sigma_{(\lambda,a)}\right) \quad (2.7)$$

Тоді розсіяний потік Φ_r буде:

$$\Phi_r = \Phi_0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3}{4} \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{a_i} \cdot I\sigma_{(\lambda,a)}\right)\right] \quad (2.8)$$

де i - індекс різних типів частинок;

C - об'ємна концентрація частинок i -го типу розміру;

a - радіус частинок i -го типу;

$\sigma_{(\lambda,a)}$ - коефіцієнт розсіювання випромінювання з довжиною хвилі λ частинками радіуса a .

Якщо неоднорідності у вигляді частинок мають розміри більші за довжину хвилі випромінювання λ , то розсіювання випромінювання у напрямку проходження пучка є переважаючим над іншими складовими.

Інтенсивність випромінювання, що розсіюється великими частками в прямому напрямку, на 2-3 порядки вище складових в бічному напрямку. Ця особливість обмежує застосування оптичних методів контролю неоднорідних середовищ з розмірами неоднорідностей, що перевищують довжину хвилі випромінювання. Аналогічно мають місце і оптичні схеми контролю мутних середовищ з масовою концентрацією малих (<1 мкм) частинок, що не змінюється так як вони є нефільтрованими.

Якщо за результатами контролю здійснюється управління фільтруючими установками, неоднорідність середовища визначається на виході тільки концентрацією великих частинок [21] по потоку випромінювання що пройшло:

$$\Phi_{пп} = \Phi_0 \cdot \exp(-K_{\lambda} Cl) \quad (2.9)$$

де K_{λ} - масовий показник ослаблення, що залежить від довжини хвилі поглинутого випромінювання.

Показник K_{λ} залежить від параметрів неоднорідностей (часток) і концентрації C . Однак при зміні параметрів a , λ , C , l його величина

коливається. При наявності неоднорідностей з відносною сталістю їх середнього розміру завдання визначення величини C спрощується. За індивідуальним результатами досліджень специфічних неоднорідних середовищ оцінюються їх оптичні властивості і експериментально отримують функціональну залежність K_λ і C . Встановити однозначну залежність цих величин за вимірюваним значенням коефіцієнта пропускання:

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{пр}}}{\Phi_0} \cdot \exp(-K_\lambda Cl) \quad (2.10)$$

або за величиною оптичної щільності:

$$D = \lg \left(\frac{\Phi_0}{\Phi_{\text{пр}}} \right) = \varepsilon Cl \quad (2.11)$$

є важким та малоздійсненним завданням [2, 12, 22].

У випадку роботи із середовищами що містять зважені частки розподіл інтенсивності випромінювання щодо центральної осі пучка джерела випромінювання Φ_0 будемо мати вигляд показаний на рис. 2.2,а. Якщо розміри часток у досліджуваному середовищі можна співставити із довжиною хвилі λ джерела світла, буде спостерігатися картина показан на рис. 2.2,б. Для часток, переріз яких переважає довжину хвилі освітлення λ буде присутнє збільшення інтенсивності розсіювання в прямому напрямку (рис. 2.2,в) [12].

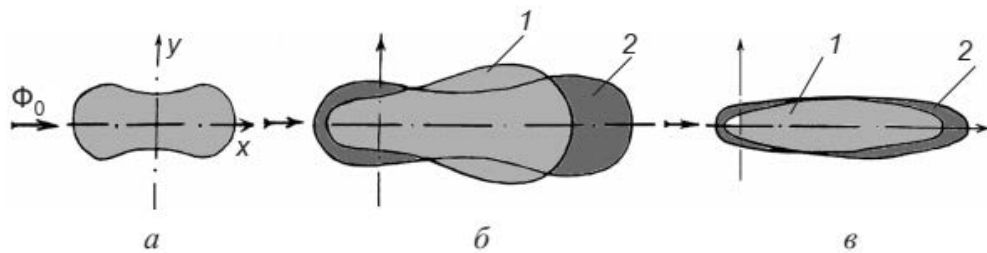


Рис. 2.2 – Індикатриси розсіювання частками випромінювання у випадку освітлення випромінюванням довжиною хвилі λ : а – випадок коли розміри часток є меншими за λ ; б – переріз часток практично дорівнює λ ; в – переріз часток більше λ ; Φ_0 – потік випромінювання, X – центральна вісь пучка випромінювання.

Аналіз різних принципів формування первинної інформації про технічний стан неоднорідних водного середовища показує, що залежність

інформативних параметрів найбільш виразно видається в методах технологічного контролю, побудованих на оптичних ефектах.

Оптичні методи забезпечують необхідні метрологічні, експлуатаційні та інформаційні вимоги і мають традиційно сформовану теоретичну і елементну базу вимірювання мутності води технологічного призначення на всіх етапах виробництва продукції.

2.5. Інструментальне забезпечення методик вимірювання мутності води технологічного призначення

Специфіка і різновиди технологічних водних середовищ породжують відповідне різноманіття методів і контрольно-вимірювальних засобів. При візуальному контролі поточний стан середовища оцінюється за наявністю сторонніх домішок і зважених часток в «вимірному» обсязі [11].

Для кількісної оцінки ступеня забруднення водного середовища визначають вагове значення сухого залишку, відповідність взятої проби деякому значенню за встановленими градаціях або прозорість (каламутність) перевіряється обсяг (стовпа) в контрольному циліндрі. Зливаючи рідину, по контрастному індикатору (кільцю) встановлюють висоту стовпа, при якій чітко проглядається індикатор. За поступовим значенням або по висоті стовпа неоднорідного середовища встановлюється її технологічна придатність [25].

При своїй порівняльній простоті візуальні методи і засоби відрізняються, суб'єктивністю, низькою продуктивністю і оперативністю. Суб'єктивність в оцінці результатів, просторово-часовий розрив технологічного процесу і контрольно-вимірювальних операцій, відмінності в умовах цеху і лабораторії, низька точність і достовірність не відповідають сучасним вимогам автоматизованого і автоматичного контролю мутності води технологічного призначення.

У сучасних технологіях оцінки якості води технологічного застосування широке застосування знаходять мутноміри на основі турбидиметричних і нефелометричних методів контролю.

Їх відмінності виявляються в ефектах спектрально-енергетичної взаємодії випромінювань з зваженими у воді неоднородностями в однорідному середовищі. На ефектах взаємодії дрібних неоднорідностей будуються нефелометрія, де інформативне випромінювання формується на спектрально-енергетичному розсіянні середовищем променистого потоку (рис. 2.3,а).

Турбідиметрія реалізуються на ефектах традиційного просвічування неоднорідного середовища, де інформативне випромінювання формується по світловому потоку, який пройшов весь елементарний обсяг середовища що аналізується (рис. 2.3, б) [12, 23].

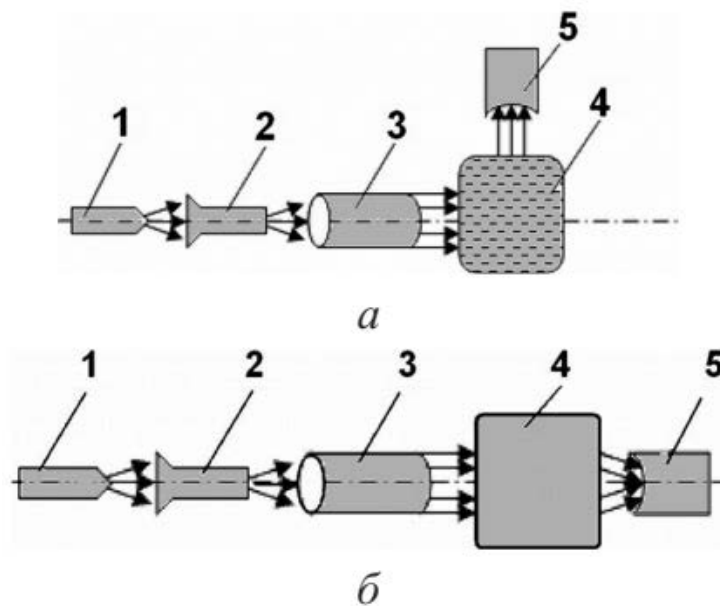


Рис. 2.3 – Класична схема нефелометричного (а) та турбідиметричного (б) аналізу: 1 - джерело випромінювання; 2 - випромінювач; 3 - оптична система; 4 - неоднорідна середовище; 5 – фотоприймач.

У нефелометричному мутномірі використовується залежність Релея [1]:

$$\Phi_i = \Phi_0 \cdot \frac{CV^2}{l^2 \lambda^4} \cdot (1 + \cos^2 \theta) m \quad (2.12)$$

де Φ_i - інформативний світловий потік, розсіяний одиницею елементарного обсягу середовища під кутом θ до напрямку поширення потоку Φ_0 при відстані l від випромінювача до приймача (рис. 2.4);

V - об'єм неоднорідності;

λ - довжина хвилі світлового потоку;

m - коефіцієнт, що залежить від показника заломлення неоднорідностей і однорідного середовища.

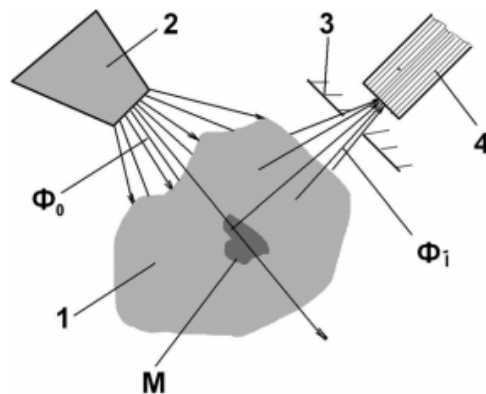


Рис. 2.4 – Схема нефелометричного вимірювання мутності розчинів: 1 - середовище; 2 - джерело випромінювання; 3 – формувальна система; 4 - фотоприймач; Φ_0 - падаючий світловий потік; Φ_i - відбитий світловий потік; М - неоднорідності середовища [12].

Залежність вихідної і вихідної величин в аналізаторі мутності турбидиметричного типу описується виразом:

$$\Phi_i = \Phi_0 \cdot e^{\varepsilon \lambda C l} \quad (2.13)$$

де Φ_i і Φ_0 - інформативний та почтаковий світловий потік;

m - питома екстинція;

C - концентрація неоднорідностей;

l - довжина шляху просвічує елементарний об'єм середовища.

Питома екстинція є ознакою, що показує ослаблення світлового потоку на одиницю довжини досліджуваного об'єму середовища з одиничною концентрацією неоднорідностей на вибраній довжині хвилі λ . Вона визначає характер мутності водного середовища.

Інструментальне забезпечення турбідиметричного методу структурно можна представити функціональною схемою, що показана на рис. 2.5. Водне середовище в прозорій ємності просвічується паралельним світловим потоком Φ_0 і за величиною інформаційного потоку Φ_i на виході визначається ступінь її забруднення. При цьому в контрольній пробі середовища 2 передбачається технологічне вікно (щілину), оптично прозору для даного спектра випромінювання. Зібраний на виході світловий потік Φ_i фокусується на чутливій майданчику фотоприймача 3. Подальша обробка інформації здійснюється в електронному блоці [8, 12].

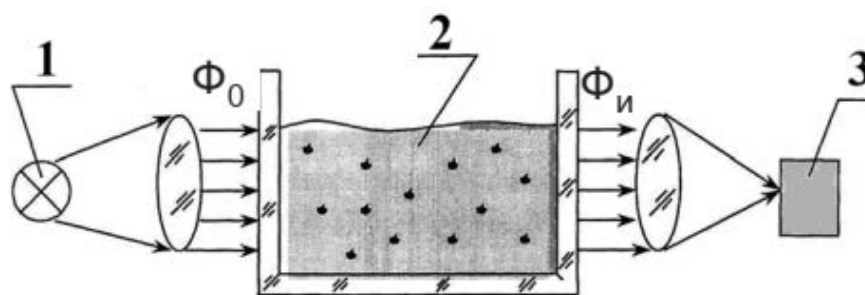


Рис. 2.5 – Функціональна схема турбідиметрії: 1 - джерело випромінювання; 2 - контрольована середовище; 3 - приймач випромінювання; Φ_0 - паралельний світловий потік; Φ_i - інформаційний потік

Мутноміри даного схемного рішення використовуються можуть використовуватися в режимі безперервного контролю мутності води в технологічних процесах. У них передбачається режим періодичних вимірювань з документальною реєстрацією результатів. Беручи однозначну залежність між коефіцієнтом пропускання і концентрацією суспензій, по градуювальними кривим визначають мутність середовища, або в перерахунку - концентрацію

Нефелометричний і турбідиметричний способи мутнометрії добре адаптовані до специфіки вимірювання мутності води технологічного призначення. В той же час, застосування вибраного методу вимірювань мутності вибирається емпірично, так як для їх обґрунтованого вибору необхідно мати статистичні дані про показники середовища вимірів.

2.6. Огляд технічних особливостей вимірювачів мутності води технологічного призначення вибраних схемних рішень

Вода технологічного призначення придатна для контролю нефелометричними або турбідиметричними методами. Прозорість води технологічного призначення в певному діапазоні довжин хвиль є інтегральною характеристикою її основних експлуатаційних параметрів.

Найбільш вживаними в умовах експлуатації типами промислових мутномірів (рис. 2.6). є турбідиметри в стаціонарному і автономному виконанні. Вони забезпечують контроль розмірів, форми, числа неоднорідних частинок по ослабленню інтенсивності випромінювання що пройшло через шар середовища, тобто по вимірюванню прозорості [18].

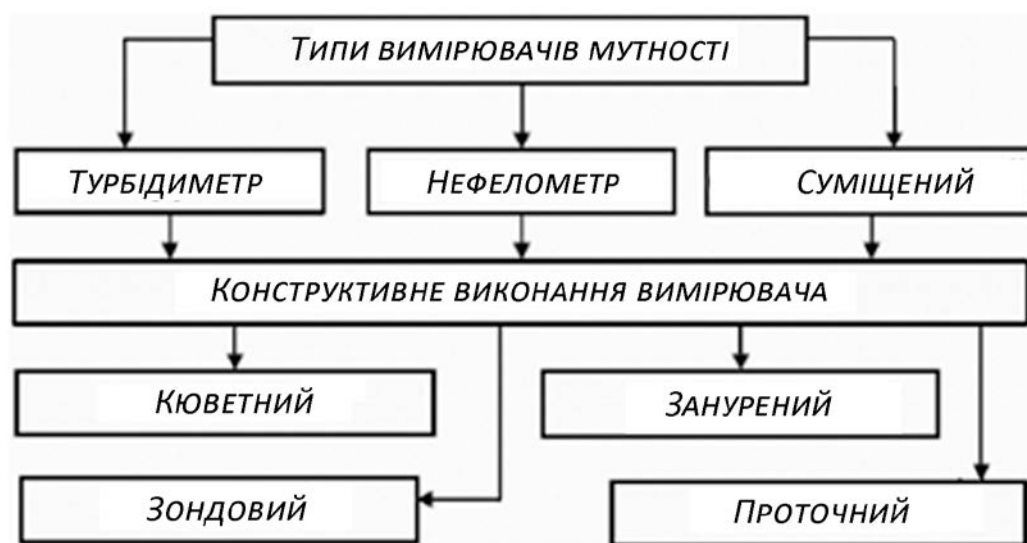


Рис. 2.6 – Типи промислових мутномірів.

В конструкції нефелометрів враховується залежність інформативного випромінювання розсіювання від певного кута до впливу потоку випромінювання. По всій природі нефелометрія є засобами відносних вимірювань, що вимагає наявності певних еталонів каламутності. Ці стандарти за формою, розмірами і розподілу часток, а також за коефіцієнтом заломлення строго узгоджуються з характеристиками реальних контрольованих водних середовищ. За характером відбитого випромінювання

оцінюється блиск і колір рідини. При цьому випромінювання може відображатися регулярно або дифузно [19].

Водне середовище відрізняється специфікою коефіцієнта заломлення при певних умовах вимірювання. На такому принципі будуються рефрактометри, широко використовувані для ідентифікації і розпізнавання речовин. Однак моделювання інформаційних процесів і застосування рефрактометрії для моніторингу багатоконпонентних сумішей і розчинів являє собою досить складне завдання. Поляриметри, засновані на принципах вимірювання оптичної активності речовин, використовуються для визначення концентрації і ідентифікації досліджуваних рідин. Однак реалізація моніторингу на основі рефлектометрів і поляриметрів (експрес-контроль) є складними для виконання завданнями.

Сучасні засоби мутнометрії води технологічного призначення можна поділити відповідно до сфери застосування на лабораторні, потокові і портативні Мутноміри різних типів, конструкцій і фірм-виробників (табл. 2.1). У таблиці 2.1 наведена коротка характеристика деяких сучасних засобів вимірювання мутності води технологічного призначення.

Таблиця 2.1. Характеристика засобів вимірювання мутності води технологічного призначення [21, 23].

Модель	Фірма-виробник	Коротка технічна характеристика вимірювального засобу
<i>Лабораторні вимірювачі мутності</i>		
Turb 555, Turb 555IR	Корпорація WTW	Високоточні лабораторні мутноміри. Випромінювач - вольфрамова лампа (Turb 555,) або ІЧ світлодіод (Turb 555IR). Діапазон вимірювань 0,0001.. 10000 NTU з автоматичним вибором одного з чотирьох піддіапазонів. Відносна похибка 2% (до 1000 NTU). Час вимірювання до 6 с.
ЛАСКА-біо, ЛАСКА- техно	НПФ АП «ЛЮМЕКС»	Універсальні аналізатори мікрочастинок. Вимірювання кутової залежності розсіювання світла і швидкості осідання частинок розмірами 0,2...20 мкм.

<i>Промислові вимірювачі мутності</i>		
CUS61H + вторинна апаратура CU740	«Endress + Hammer»	Універсальний потоковий мутномір з розширеним діапазоном вимірювання каламутності 0 ... 12 г/л середовища при температурі 0 ... 50 ° С; приведена похибка 1%
T/T1054- A2100	«Rosemount Analytical»	Точне вимірювання каламутності води в діапазоні концентрації нерозчинних домішок 0...1 г/л. Наведена похибка 2... 4%
WTM 500	«Sigrist Photometer»	Контроль всіх стадій водопідготовки з діапазоном вимірювань 0...500 FNU і з дозволом 0,001 FNU
«Steady Stream 4»	«GLI International» (випускається під маркою фірми HACH, США)	Мутноміри 0...1000 NTU з чутливістю 0,01 NTU і максимальної наведеної похибкою 5%
СКАТ-1	НПФ АП «ЛЮМЭКС»	Мутноміри в потоці з тиском 0,01. ..0,1 МПа. Діапазон 1...50 мг / л, похибка 1%. Габарити 400x300x150 мм
АЖН-98/ПК	ІЦ «Уралсемикон- дактор»	Мутноміри хімводоочищення ТЕЦ. Діапазон 0,4...5500 мг / л, похибка 4%, температура води 1...40°С
2100 Р	HACH (США)	Мутноміри польових вимірювань в діапазонах 0...10, 0...100, 0...1000 NTU з відносною похибкою не більше 3%
ІІ 93703-11	«HANNA Instruments»	Нефелометр з піддіапазонами 0..50 NTU з роздільною здатністю 0,01 NTU і 50...1000 NTU роздільна здатність 1 NTU
I WQ770	«Global Water Instrumentation»	Мутноміри зануреного типу з кабелем до 100 м у вигляді логометричного нефелометра-турбідиметра. Діапазони вимірювання 0...50, 0...1000 NTU. Відносна похибка 5%

Лабораторні мутноміри моделей Turb 555 і Turb 555IR забезпечують високу точність в широкому діапазоні з автоматичним вибором одного з

чотирьох піддіапазонів. Випромінювач у вигляді вольфрамової лампи або ІК-світлодіоди живляться від промислової мережі. Час одного виміру до 6 с.

В універсальних аналізаторах мікрочастинок типів ЛАСКА-біо і ЛАСКА-техно вбудовані два оптичних блоки по 16 каналів, із напругою живлення 220 В, 50 Гц з лазерним випромінювачем типу лазера з 670 нм. Забезпечують фотометрування з похибкою до 1%. Програмне забезпечення дозволяє фіксувати, статистично обробляти та відображати розподіл мікрочастинок за розмірами в динамічному режимі за період до 30 діб.

Високоточні промислові мутноміри моделей СUM 740 (Німеччина) і T1054-A2100 забезпечують контроль різних технологічних процесів при температурах до 50°C і для води з температурою до +230°C (варіант CUS 61H з тиском до 0,6 МПа). Прилади T1054-A2100 мають проточну камеру аналізованої води з температурою від 0 до 60°C. Змінний випромінювач типу лампи розжарювання розташовується над поверхнею води.

Проточний аналізатор СКАТ-1 зі змінною проточною кюветою і лазерним випромінювачем (670 нм) забезпечує цифрову індикацію з виходами RS-232-485 в аналоговій формі від 4 до 20 мА.

Можливо найважливіше у визначенні мутності те, що на практиці різні прилади, що калібруються за одним стандартом, покажуть різні результати. Раніше було показано що основна причина відмінностей в свідченнях приладів - це використання різних комбінацій джерело-світлодетектор. При малих рівнях мутності стороннє світло також робить сильний вплив.

Серйозність даної проблеми недооцінюють як користувачі, так і виробники турбідиметрів і нефелометрів. Автори 19 видання Стандартних методів спробували зменшити відмінності, встановивши основні характеристики найважливіших компонентів аналізаторів мутності [12]:

1. Джерело світла - з колірною температурою в межах від 2200⁰ до 3000⁰.
2. Відстань ходу між падаючим і розсіяним світлом усередині вимірювального середовища - не більше 10 см.

3. Розташування детектора - напроти центру середовища, під кутом 90° до напрямку падаючого світла, в межах $\pm 30^\circ$

Детектор і система фільтрів (при використуванні) повинен мати максимум чутливості в області 400 - 900 нм.

Допуски, існуючі в даних характеристиках, як і раніше залишають можливою достатньо багато відмінностей між приладами. Доброї кореляції значень мутності, отриманих в різних випадках, можна добитися, тільки використовуючи однакове інструментальне забезпечення.

Провівши огляд та аналіз приладів призначених для визначення показників мутності водного середовища можна визначити сучасні конструктивні рішення які дозволяють забезпечити вимірювання, чутливості, діапазону вимірювання та методів на яких розробляються мутноміри.

Висновки до розділу 2

У розділі розглянуто методи оцінка показників води технологічного призначення. Виконано характеристику оптичних методів контролю показників мутності. Оптичні методи контролю мутності можна класифікувати нафотометричні, рефрактометричні, поляризаційно-оптичні, нефелометричні та турбидиметричні та спектральні.

В основі методів нефелометрії та турбодиметрії лежать явища розсіювання і поглинання світлового потоку. Дані явища представляють собою динамічний процес перетворення випромінювання при взаємодії з середовищем в інформативне випромінювання. Ці перетворення характеристик випромінювання протікають як в режимі лінійної оптики, так і при проходженні різних нелінійних явищ в контрольованому середовищі.

Сучасні вимірювачі мутності води технологічного призначення можна поділити на лабораторні, потокові та портативні. У них застосовуються різні джерела світла, що представлені елементами розжарювання, лазерами, світло діодами та галогенними лампами.

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ АНАЛІЗАТОРУ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТА АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ

Вимірювачі мутності що працюють за методикою вимірювання ослаблення світлового потоку, що проходить через досліджуване водне середовище, визначають залежність кількості світла, що розсіюється у розчині пропорційно до загальної кількості часток у розчині. Це є основою турбідиметричних методів вимірювань. Для вимірювання мутності води що застосовується у сфері харчової промисловості необхідно забезпечити достовірність вимірів відносного вмісту зважених часток у воді на рівні $0,1 \dots 100 \text{ OM/дм}^3$ по формазину.

У якості джерел світла використовуються джерела світла на основі нитки розжарювання або напівпровідникові елементи. Для фокусування випромінювання джерела у вигляді вузького пучка високої інтенсивності застосовують фокусуючі оптичну систему що складається із однієї або декількох лінз, що мають коефіцієнт пропускання τ оптимальний для застосування у вибраному діапазоні довжин хвиль випромінювання.

Щоб забезпечити необхідний спектральний діапазон вимірювань застосовують ультрафіолетові фільтри із смугою пропускання $500 \dots 900 \text{ нм}$. У випадку більш вузького виокремлення робочого діапазону довжин хвиль (при роботі із забарвленими розчинами, та розчинами із досить низьким показником мутності) застосовують дифракційні решітка, що дозволяють виділити спектральний діапазон на рівні $1 \dots 10 \text{ нм}$. Такі дисперсійні системи містять у своєму складі систему вертикальних ліній, що створюють інтерференційну картину у процесі розсіювання світла, що проходить від джерела. Це дозволяє проводити якісний аналіз води, що відповідає стандарту питної води, та може застосовуватися у якості вихідної сировини при виробництві харчових продуктів у вибраних технологічних процесах.

3.1. Вибір схемного рішення аналізатору мутності для застосування у технологічних процесах харчової промисловості

В основі методу турбідиметрії в ближній ІЧ-області довжин хвиль застосовуються схемні рішення фотометрії та спектрофотометрії. У випадку роботи із незабарвленими розчинами використовують УФ- або видимий діапазон довжин хвиль. Якщо досліджуване середовище може містити барвники, або зважені частки що здатні до люмінесценції (краплинки олії, поверхнево-активні речовини, біологічні речовини), тоді використання УФ- і видимого світла створює значну похибку вимірювань.

Для роботи із водою що може застосовуватися в технологічних процесах виробництва продуктів харчування є доцільним застосування більш довгохвильової області спектру у діапазоні ближнього ІЧ-випромінювання (880 ± 30 нм). Загальна функціональна схема вимірювача мутності води технологічного призначення наведена на рис. 3.1

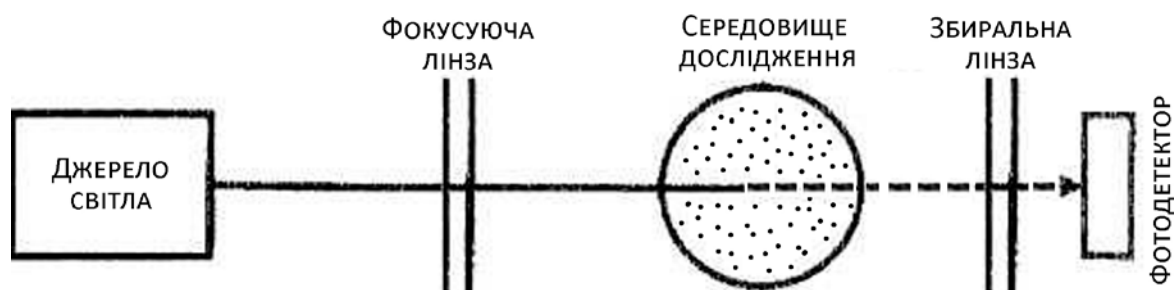


Рис. 3.1 – Функціональна схема турбідиметричного вимірювача мутності води технологічного призначення [25].

Значення показника мутності середовища, у випадку застосування методів та засобів турбідиметрії, встановлює залежність величини мутності досліджуваного середовища від його оптичної густини, відповідно до основного закону поглинання світла (закон Бугера-Ламберта-Бера) [1]:

$$S = \lg(I_0 / I) = kbN \quad (3.1)$$

де S - відносний показник мутності досліджуваного середовища;

k - коефіцієнт мутності (залежить від вимірюваного середовища);

b - відстань що пройшло випромінювання в кюветі;

N - загальна кількість часток зважених в середовищі дослідження.

Для забезпечення вимірювань мутності води у технологічних процесах харчової промисловості запропоновано різницеву схему вимірювання що містить 2 вимірювальних канали (основний і порівняльний) підключені до загального операційного підсилювача, що проводить диференційне зрівняння результатів вимірювань. На рисунку 3.2. показана схема структурна комбінована аналізатору мутності води технологічного призначення.

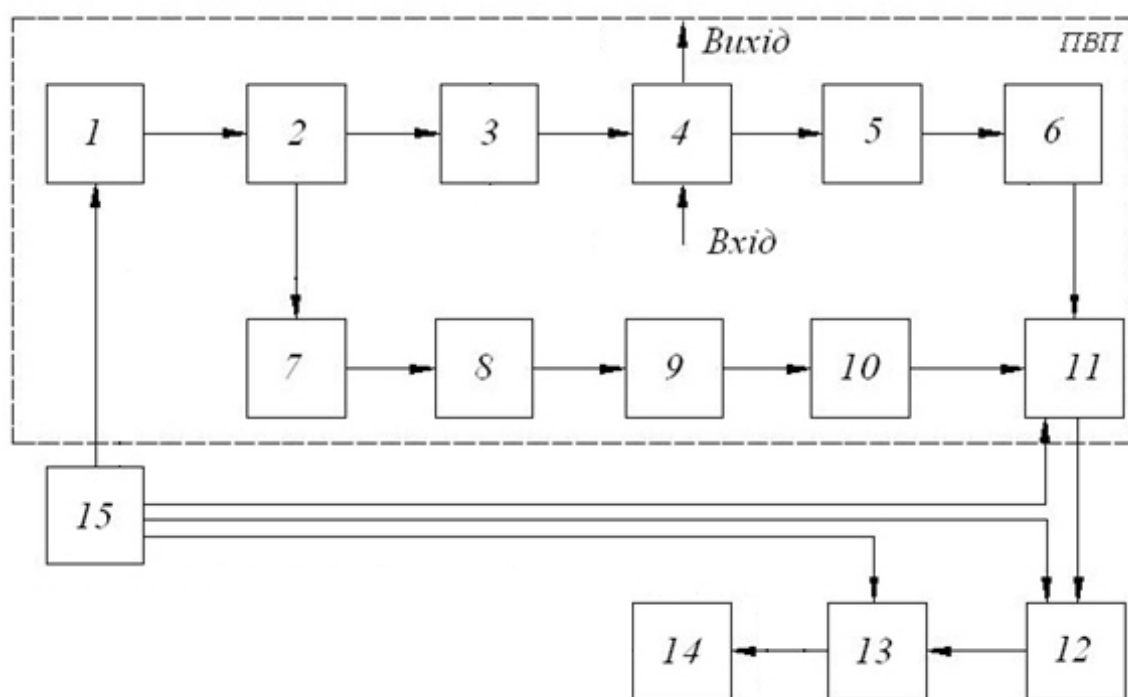


Рис. 3.2 – Схема комбінована структурна аналізатору мутності води технологічного призначення: 1 – джерело випромінювання; 2 – напівпрозоре скло; 3,7 – фокусуючі лінзи із можливістю встановлення смугових світлофільтрів для якісного аналізу ($\lambda_{\text{пр}} = \lambda_{\text{max}} \pm 2,5 \dots 5$ нм); 4 – проточна кювета; 5,9 – оптична формуюча система; 6,10 – приймачі випромінювання; 8 – стандарт мутності; 11 – попередній підсилювач; 12 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 13 – блок обробки інформації (компаратор); 14 – блок відображення інформації; 15 – стабілізоване по напрузі джерело живлення.

Аналізатор розглянутого схемного рішення представляє собою вимірювальний прилад на якому розміщено всі необхідні елементи для збору

та відображення інформації про стан мутності води технологічного призначення. В блоці первинного вимірювального перетворювача (ПВП) розміщено джерело випромінювання (1) – світло випромінюючий інфрачервоний діод Vishay TSHA520, що забезпечує потік випромінювання із λ_{\max} на довжині хвилі 875 ± 5 нм. Далі випромінювання розподіляється за допомогою напівпрозорого скла (2) на два промені: робочий та порівняльний.

У вимірювачі забезпечено можливість встановлення світлофільтрів із вузькою смугою пропускання ($\lambda_{\text{пр}} = \lambda_{\max} \pm 2,5 \dots 5$ нм) що забезпечують якісні аналітичні вимірювання води за присутності барвників та селекції домішок у водній дисперсній фазі. У випадку прямого кількісного аналізу у всьому робочому спектрі джерела випромінювання (вимірювання мутності на просвіт), світлофільтри можна вилучити, для зменшення втрат у оптичній системі вимірювача.

Після розподілу на основний та порівняльний промені, робочий промінь фокусується лінзою (3) та проходить через робочу кювету (4), виготовлену з прозорого для ІЧ- та видимого спектру випромінювання матеріалу. В кюветі, відбувається поглинання частками, яке оптичну систему (5) направляється на фотоприймач (6).

Порівняльний промінь формується лінзою (7) та проходить через один із стандартів мутності на основі формазину (8), що забезпечують наступні відносні робочі діапазони вимірювання мутності:

1. (0...10 NTU) – із ціною поділки 0,01 NTU – для питної води, та слабо забрудненої домішками води у технологічних процесах вироблення харчових продуктів;

2. (10...100 NTU) – із ціною поділки 0,1 NTU – для води на виході технологічних процесів та після фракційного очищення;

Далі світловий потік, що відповідає концентрації домішок у воді через оптичну систему (9) потрапляє на фотоприймач (10). Сигнали з обох фотоприймачів подаються на попередній підсилювач (11), де вони підсилюються до зручної нам величини та порівнюються. Далі цей сигнал

подається на АЦП (12) та систему обробки інформації, що представляє собою компаратор. Після корекції похибок, сигнал в цифровій формі потрапляє на пристрій виводу інформації (13) або персональний комп'ютер. Всі електричні елементи аналізатору живляться від автономного джерела живлення (15).

В первинному вимірювальному перетворювачі аналізатору мутності води технологічного призначення використовуємо основи турбідиметричного методу аналізу. Розіб'ємо ПВП аналізатору на наступні основні блоки: блок джерела ІЧ-випромінювання, робоча кювета, блок приймача ослабленого розчином випромінювання та блок аналізу і порівняння сигналів вимірювальної інформації (рис.3.3).

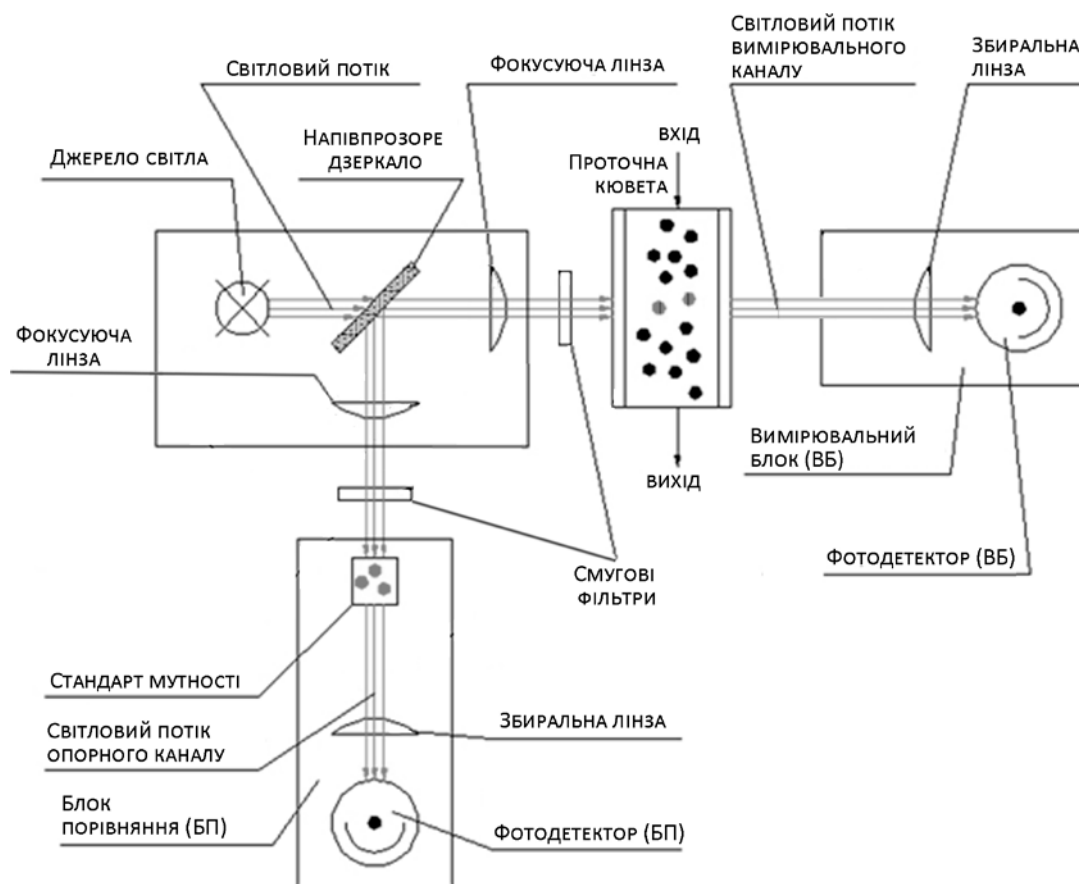


Рис.3.3 – Функціональна схема аналізатору мутності води.

Блок джерела випромінювання буде складатися з джерела ІЧ-випромінювання та напівпрозорого скла для розділення променя на робочий та порівняльний.

Робоча кювета буде представляти собою ємність, через яку буде проходити потік води, виготовлена з прозорого для ІЧ-випромінювання матеріалу.

Блок приймача випромінювання складатиметься з світлофільтра, оптичної системи (одновипуклої лінзи) та фотодетектора. Блок порівняння представлятиме собою оптичний стандарт мутності на основі формазиу, світлофільтр, оптичну систему та фотодетектор (рис. 3.4). Кріплення основи корпусу з кришкою забезпечуємо за допомогою гвинтів.

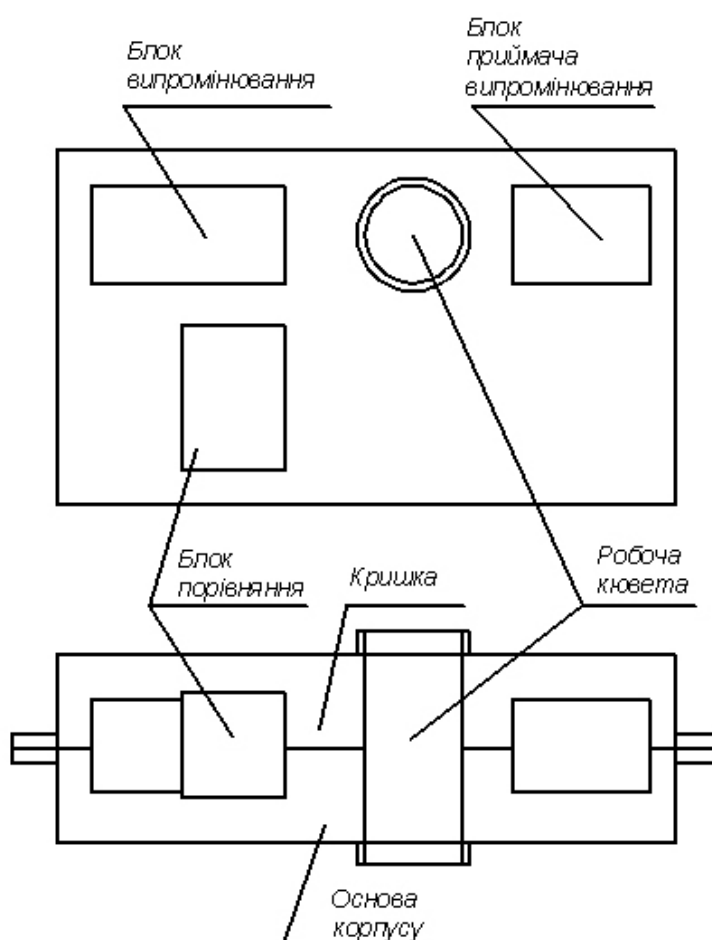


Рис. 3.4 – Схематичне розміщення складових елементів вимірювача мутності води технологічного призначення.

Розглянуте схемне рішення аналізатору мутності в ближній ІЧ-області довжин хвиль дозволяє проводити виміри мутності забарвленої барвниками води за наявності диспергованхи домішок, що є неполярними розчинниками

(краплини олії, тверді забарвлені домішки, сміття, біологічні включення). У випадку застосування світлофільтрів із вузькою смугою пропускання (одиночнм) – з'являється можливість якісного та кількісного аналізу забарвлених аналітів. Довжина хвилі випромінювання у такому випадку підбирається експериментальним шляхом. Застосування 2 вимірювальних каналів (опорного та порівняльного) дозволяє покращити швидкодію вимірювача в проточному варіанті.

3.2. Обґрунтування вибору джерела випромінювання вимірювача мутності води технологічног призначення

3.2.1. Спектральні характеристики джерела випромінювання

На сьогоднішній день світловипромінюючі діоди активно застосовуються в різних областях: оптоелектроніка, системи відображення інформації та ін. Коло завдань, при рішенні яких використовуються СВД, обумовлене високою ефективністю перетворення електричної енергії у світлову що становить для ІЧ-діапазону значення на рівні 20-25 лм/Вт. В той же час лампи розжарювання мають вихід по світловому потоку менше 10лм/Вт. Світлодіоди володіють високою яскравістю й квантовим виходом (при невеликій площі СВД сила світла по осі – 30-50 кд), високою швидкодією, характерним спектральним складом, можливістю модуляції випромінювання живленням, малим споживанням енергії (частки або одиниці ватів), електробезпечністю (одиниці вольтів), надійністю, великим терміном експлуатації (десятки тисяч годин), високою стійкістю до механічного й кліматичним впливам.

Світлодіоди випромінюють у спектральному інтервалі до декількох десятків нанометрів. Довжина хвилі випромінювання визначається енергетичною шириною зон напівпровідника, найчастіше шириною забороненої зони ΔE_3 : $\lambda = (hc)/\Delta E_3$. Відомі в цей час напівпровідникові матеріали дозволяють створювати джерела світла у видимій та ІЧ-областях

спектра. На рис. 3.5 показані характеристичні спектри випромінювання світлодіодів. Спектральні характеристики світлодіодів залежать від робочого діапазону температур [30].

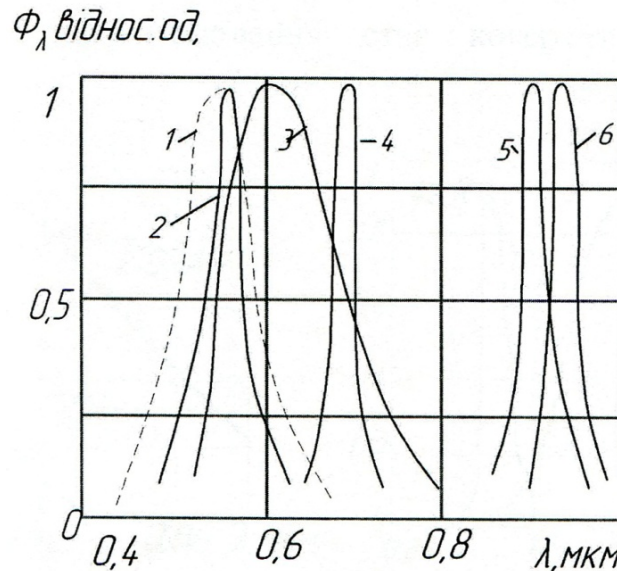


Рис. 3.5 – Спектри випромінювання світлодіодів: 1 - відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання; 5 - Ga; 3 - aSiC модифікації 6H, легований B і N; 4 - Ga легований Zn, Fe і O₂; 5 - GaAs, легований Zn і Fe; 6 - GaAs, легований Si і Fe.

Спектр світлодіода на основі GaAs, легованого Zn і Fe, при кімнатній температурі (крива 5) має довжину хвилі в максимумі $\lambda_{\max} = 0,91$ мкм і ширину на рівні 0,5 максимального значення $\lambda_{\max} = 0,03$ мкм. При підвищенні температури λ_{\max} збільшується, а при зниженні – зменшується, так само як і ширина спектральної кривої. Зміна λ_{\max} становить приблизно 0,3 нм/К. Для GaAs, легованого Zn і Fe $\lambda_{\max} = 0,95$ мкм, $\lambda_{0,5} = 0,03$ мкм (крива 6). При зміні температури λ_{\max} змінюється слабо [31].

Для світлодіодів на основі GaAs, легованих Zn і Fe і PPO₂, $\lambda_{\max} = 0,68$ мкм, $\lambda_{0,5} = 0,03$ мкм (крива 4). Для світлодіодів на основі aSi модифікації 6H, (крива 3), $\lambda_{\max} = 0,6$ мкм, $\lambda_{0,5} = 0,1$ мкм із малим зрушенням від температури. Використовуючи інші спектральні матеріали, можна одержати світловипромінюючі структури з іншими довжинами хвиль.

Характеристики світлодіода залежать також від щільності струму I в p - n -переході. При малих густинах вільних носіїв у зонах випромінювальна (пряма) рекомбінація малоімовірна. Підвищення ж концентрації носіїв збільшує інтенсивність рекомбінаційного випромінювання. Це може бути досягнуто інжекцією у напівпровідник надлишкових носіїв через p - n -перехід.

Спочатку залежність між інтенсивністю випромінювання й струмом у I переході лінійна, і випромінювання в цій області слабке й некогерентне. Зі збільшенням струму (при перевищенні його певного значення) інтенсивність випромінювання різко зростає, воно стає когерентним. Гранична щільність струму, при якій випромінювання стає когерентним, залежить від температури [16].

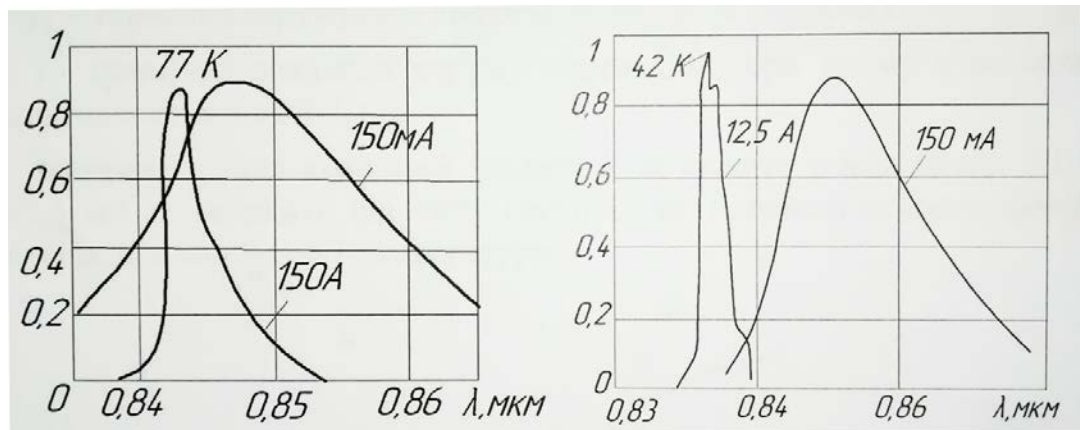


Рис. 3.6 – Спектри випромінювання світлодіода на основі арсеніда галія.

На рисунку 3.6 дані спектри випромінювання світлодіода з GaAs при двох температурах і різних струмах. Широкі спектри відповідають некогерентному випромінюванню при пропусканні постійного струму, а вузькі - когерентному при імпульсному струмі (тривалість імпульсу 5 мкс, частота повторення 13 Гц).

3.2.2. Імпульсні властивості джерела випромінювання

Тимчасова динамічна характеристика світлодіода визначається мінімальним часом наростання й спаду світлового імпульсу, завалом плоскої

вершини при живленні його прямокутним імпульсом струму, а також мінімальною шпаруватістю імпульсів.

Тривалість переднього й заднього фронтів світлового імпульсу в основному залежить від постійної часу RC, індуктивності діода й ланцюга живлення, а також від температури. Робота світлодіодів у безперервному режимі часто обмежується саме температурою. Фронти імпульсів світла в деяких типів світлодіодів при кімнатній температурі можуть бути рівні декільком наносекундам (і навіть одній наносекунді), частота повторення імпульсів досягає десятків мегагерц [20].

Світлодіоди на основі GaAs зі спектральною характеристикою типу 5 (рис 2.3) мають фронти наростання 10 нс, а спаду – 50-70 нс.

Світлодіоди на основі арсеніду галію зі спектральною характеристикою 6 мають фронти наростання й спаду 200-500нс, а світлодіоди на основі Si (6H) у жовтій області спектра (КЛ 101) мають фронти наростання 100-250 нс.

Світлодіоди на основі Ga при подачі на них імпульсу напруги у зворотному напрямку, а також сплавні світлодіоди на основі Si при прямій і зворотній напрузі мають фронти, що становлять одиниці наносекунд. Ефективність *p-n*-переходу як джерела, конструктивні особливості світлодіодів і їхня потужність є взаємозалежні. Основною характеристикою випромінюючих світлодіодів є зовнішній квантовий вихід, розглянутий як добуток внутрішнього квантового виходу й коефіцієнта висновку випромінювання (або оптичної ефективності) приладу [26]:

$$\eta_q = \eta_{\text{вн.}}(T, I) \eta_0 \quad (3.2)$$

$\eta_q, \eta_{\text{вн.}}$ - зовнішні й внутрішній квантові виходи;

T – температура, К;

I – інтегральний струм у переході;

η_0 – оптична ефективність конструкції.

Зовнішній квантовий вихід світлодіода можна визначити наступним чином за допомогою виразу[8]:

$$\eta_q = \frac{P_e \cdot e}{hf \cdot I} \quad (3.3)$$

де в чисельнику – число випромінених за 1 секунду фотонів, а в знаменнику – число носіїв, уведених у перехід за 1 секунду;

P_e – інтегральна потужність зовнішнього випромінювання світлодіода;

h – постійна Планка;

f – частота випромінювання;

e - заряд електрона.

Коефіцієнт корисної дії світлодіода визначається:

$$\eta_q = \frac{P_e \cdot e}{hf \cdot I} \quad (3.4)$$

де U – прикладена до діода напруга.

Енергія кванта випромінювання дорівнює [30, 31]:

$$\eta_e = \frac{P_e}{I \cdot U_r} \quad (3.5)$$

де U_r – різниця потенціалів, що відповідає ширині забороненої зони.

Можна отримати зв'язок між ККД η_e і зовнішнім квантовим виходом:

$$\frac{\eta_q}{\eta_e} = \eta_q \frac{U_r}{U} \quad (3.6)$$

Для оптико-електронних приладів у першу чергу має значення зовнішній квантовий вихід. Він, як правило, менше внутрішнього квантового виходу, що обумовлено поглинанням генеруємого в p - n переході (десяті частки мікрометра) випромінювання в товщі напівпровідника й контактах, а також френелівськими втратами на відбиття на границі напівпровідник - середовище, у яку виходить випромінювання.

3.2.3. Вибір джерела випромінювання як елементу електричного кола

Для вибору джерела випромінювання розглянемо продукцію американської компанії Vishay. Світловипромінюючі діоди серії TSHA

мають пікові довжини хвилі випромінювання від 700 до 9400 нм. Діоди герметично закриті в метало-керамічних корпусах з ІЧ-прозорим оптичним віконцем. Технічні характеристики ІЧ-світлодіодів серії TSHA520 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики випромінювачів Vishay TSHA520

Параметр	Символ	значення
Зворотна напруга, В	V_r	5
Прямий струм, мА	I_f	100
Пік прямого струму, мА	FM	200
Імпульсний струм, А	FSM	2.5
Розсіювання потужності, мВт	P_v	180
Температура спаю, °C	T_i	100
Діапазон робочих температур, °C	T_{amb}	- 40 to + 85
Діапазон температур зберігання? °C	T_{stg}	- 40 to + 100
Температура пайки, °C	T_{sd}	260
Перехід теплового опору / навколишнього середовища, K/W	R_{thJA}	230

У таблиці 3.2 наведено електронно оптичні характеристики світлодіодів серії Vishay TSHA520 в залежності від виду лінзи.

Таблиця 3.2 Електронно-оптичні характеристики ($T=25^{\circ}\text{C}$, $I_f=20\text{ мА}$)

Довжина хвилі, λ (нм)	Маркування	Тип лінзи	Оптична потужність, P^0 , (мВт)		Постійна напруга, V_f , (В)		Кут випромінювання ($^{\circ}$)
			мін	сер	сер	макс	сер
Мін: 870 Макс: 880	ТО-18	FW	480	800	4,5	6,5	120
		HL	480	800	4,5	6,5	15
	ТО-39	FW	480	800	4,5	6,5	120
		HS	330	550	4,5	6,5	7

Продовження таблиці 3.2

		BL	480	800	4,5	6,5	7
		TFW	195	325	4,5	6,5	120
		TFWR	390	650	4,5	6,5	120

Обираємо в якості джерела випромінювання світлодіод Vishay TSHA5201 із лінзою TO-18. На рисунку 3.7. показано кут випромінювання TO-18 Hemispherical Lens

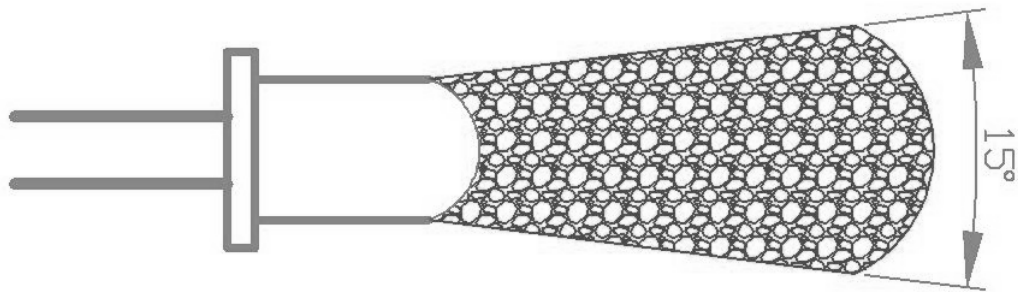


Рис. 3.7. Кут випромінювання TO-18 Hemispherical Lens.

Зовнішній вигляд світло діоду Vishay TSHA5201 зображено на рис. 3.8. Світлодіод має малі габаритні розміри на розміщується на платі методом навісного монтажу. На рисунку 3.8 показані габаритні розміри світлодіоду Vishay TSHA5201 із лінзою TO-18

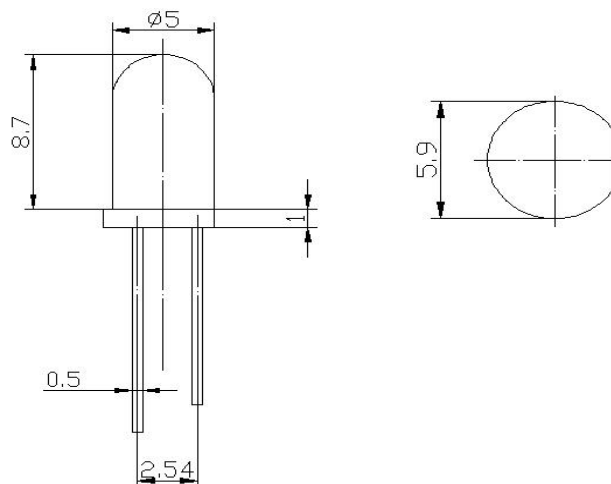


Рис. 3.8 Габаритні розміри світлодіоду Vishay TSHA5201 із лінзою TO-18

На рисунку 3.9 показаний спектр випромінювання світло діоду Vishay TSHA5201 із лінзою TO-18.

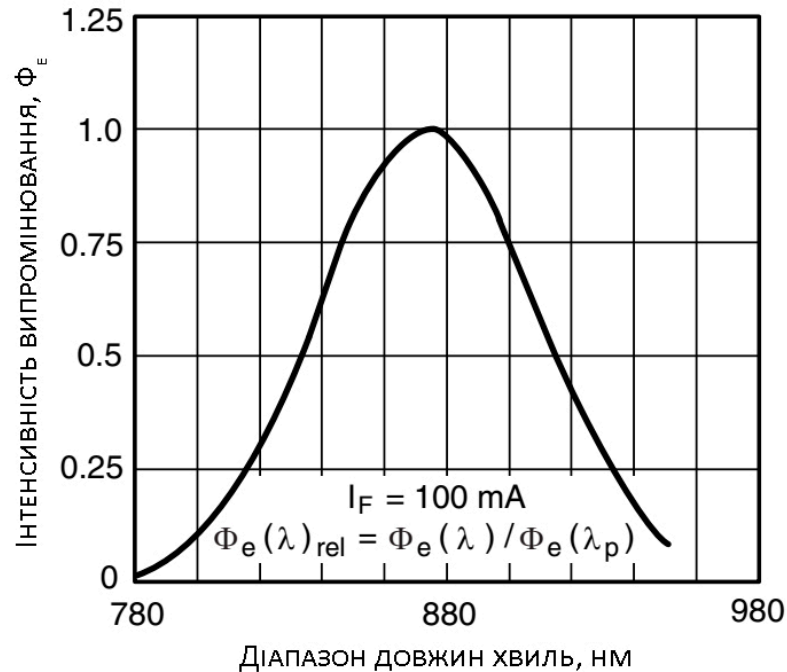


Рисунок 3.9 – Спектр випромінювання світло діоду Vishay TSHA5201 із лінзою TO-18.

Параметри світлодіода як елемента електричного кола визначаються його вольт-амперною характеристикою (ВАХ). У всіх світлодіодів вона типово діодна із сильно вираженою надлінійністю в провідному напрямку. Тому послідовно з діодом необхідно включати обмежувачий резистор, що забезпечує стійкий режим роботи світлодіода.

Розглянуте вище напівпровідникове джерело випромінювання має досконаліші характеристики порівняно із джерелами світла на основі елементів розжарювання.

3.3. Вибір матеріалу кювети та ємності стандарту мутності

Серед вимог до виготовлення робочої кювети є наступні:

- стійкість до ІЧ-випромінювання;
- прозорість матеріалу на довжинах хвиль випромінювання 750...950 нм;

Всім вище перерахованим вимогам відповідає пластифіковане органічне скло марки СОЛ та не пластифіковане марки СТ-1 (табл. 3.3 та 3.4)

Таблиця 3.3. Оптичні властивості органічного скла (плексиглас).

Марка скла	Показник заломлення n при температурі $^{\circ}\text{C}$			Оптичні викривлення в $\lambda\text{в}$
	20	45	60	
скло пластифі-коване СОЛ	1,492	1,488	1,486	3-9
скло неласти-фіковане органічне СТ-1	1,489	1,486	1,484	

У таблиці 3.4 наведено відносний коефіцієнт пропускання скла вибраних марок, в залежності від діапазону довжин хвиль випромінювання що проходить через скло.

Таблиця 3.4 Коефіцієнт пропускання скла при різних довжинах хвиль в %

Марка скла	Довжина хвилі в нм												
	300	320	340	365	380	400	650	750	800	1000	1200	1400	1600
СОЛ	11	53	76	87	88	89	91	92	90	90	61	60	70
СТ-1	0	0	11	86	89	90	84	80	92	92	90	60	69

З огляду на всі перераховані характеристики обираємо органічне скло марки СТ-1 [20].

Показник заломлення, n при $t=20^{\circ}\text{C}$ 1,492

Коефіцієнт пропускання при $\lambda = 365\text{нм}$, % 87

Коефіцієнт пропускання при $\lambda = (400 \div 650)\text{нм}$, % 90

Теплопровідність, $\text{Вт} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ при 20°C 1,35

Густина, при 20°C , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

2,21

Кювету виготовляємо у вигляді трубки зі спеціальними кріпленнями, рисунок 3.10.

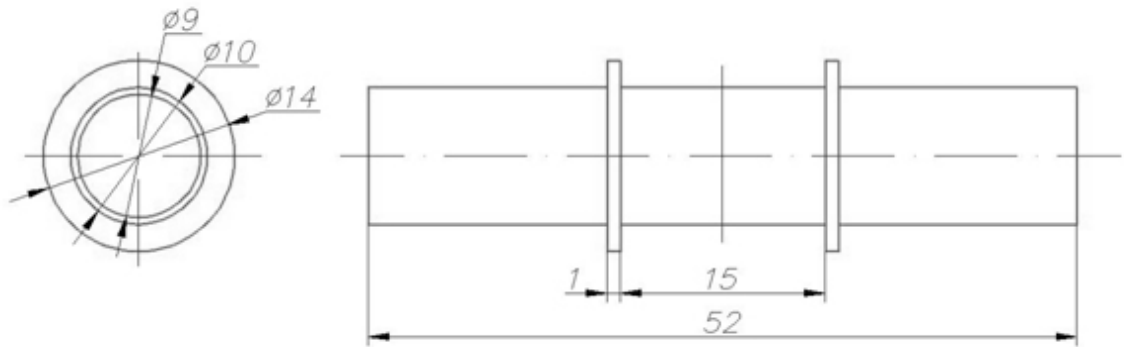


Рис. 3.10 – Вигляд проточної кювети вимірювального каналу.

Ємність для стандарту мутності виготовляємо з того ж матеріалу, що і кювету. Вона буде представляти собою стакан зі спеціальною пробкою. Загальний вигляд приведено на рис. 3.11.

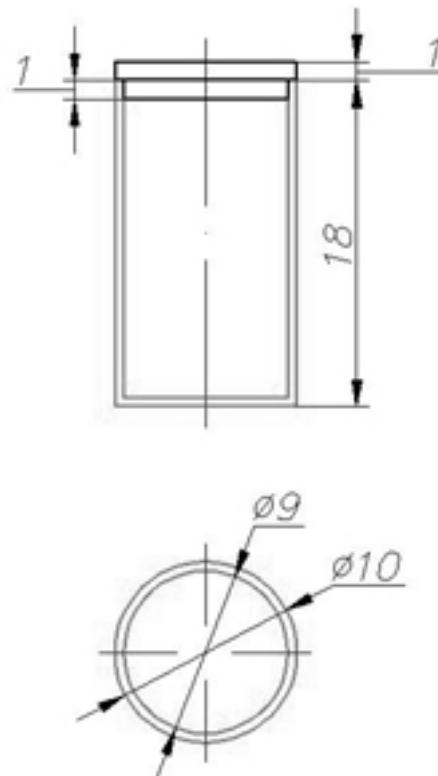


Рис. 3.11. Вигляд ємності зі стандартним розчином мутності для порівняльного каналу.

В якості стандарту обираємо розчин формазину для калібрування мутності Stabcal 100 мл що являють собою готові розчини формазину з точною концентрацією по 0-10 NTU, 10-100 NTU і 100-1000 NTU кожна.

3.4. Обґрунтування вибору фотоприймача вимірювача мутності

3.4.1. Фізичні характеристики напівпровідникових фотоприймачів

У якості фотодетектору вимірювального засобу контролю мутності води технологічного призначення є можливим застосування напівпровідникового фоточутливого елементу (фотодіоду), інтегральна спектральна характеристика якого відповідає спектральному діапазону випромінювача. Дане схемне рішення володіє низькою матеріалоемністю та потребує малих струмів включення фотоприймача (десятки мА).

В загальному випадку фотодіод – це фоточутливий напівпровідниковий діод з $p-n$ переходом (між двома типами напівпровідника або між напівпровідником і металом). При висвітленні з $p-n$ переходу в ньому виникають пари електрон-дірка. Напрямок струму цих носіїв збігається з напрямком зворотного струму пер

Структура переходу фотодіода показана на рисунку 3.9 сімейство вольт-амперних характеристик – на рисунку 3.12 [26].

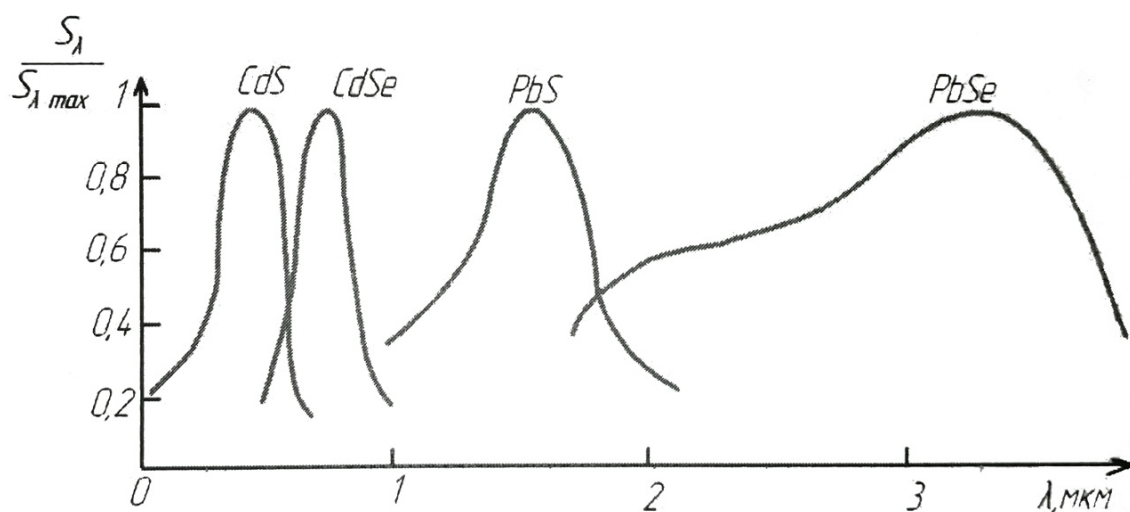


Рис. 3.12 – Структура переходу фотодіоду.

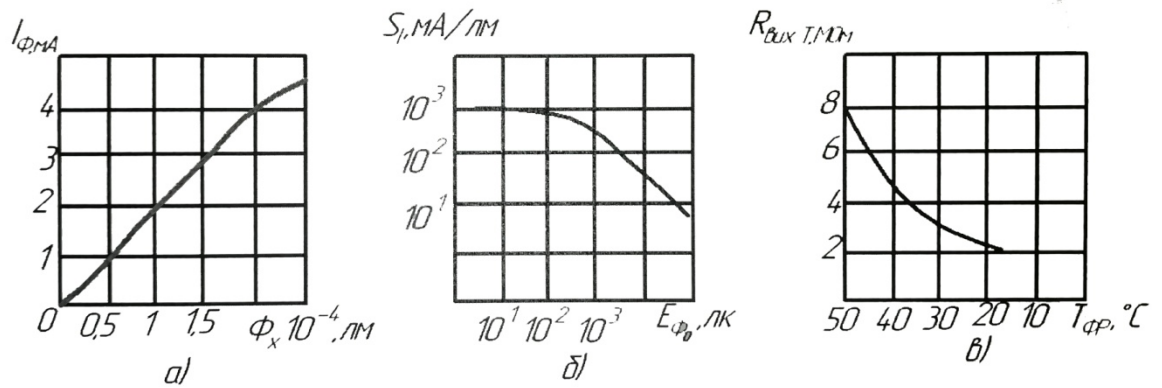


Рис. 3.13 – Сімейство вольт-амперних характеристик фотодіоду [30].

Вольт-амперну характеристику при відсутності опромінення називають темною. Значення темного струму I_T при заданій температурі навколишнього середовища й робочої напруги вказують у паспорті приладу.

Основні параметри фотодіодів – струмова чутливість S_ϕ , постійні часу наростання τ_n і спаду $\tau_{сп}$ фотоструму, робоча довжина хвилі або інтервал довжини хвилі. Крім того, прилади характеризують номінальною робочою напругою $U_{звор.ном}$, темновим струмом $I_{звор.ном}$ і максимально припустимою зворотною напругою $U_{звор.мах}$.

Статичну струмову чутливість при монохроматичному світловому потоці або потужності випромінювання визначають відношенням [24]:

$$\begin{aligned} S_{I\phi} &= \frac{I_\phi}{\Phi} \left[\text{мА} \cdot \text{лм}^{-1} \right] \\ S_{Ip} &= \frac{I_p}{P} \left[\text{мА} \cdot \text{Вт}^{-1} \right] \end{aligned} \quad (3.7)$$

де I_ϕ – фотострум;

Φ – світловий потік,

P – потужність випромінювання.

При роботі фотодіодного детектору у фотодіодному режимі зручно використовувати поняття інтегральної вольтової чутливості [24, 27]:

$$\begin{aligned} S_{U\phi} &= \frac{\Delta U_{вих.}}{\Phi} = S_{I\phi} \cdot R_n \left[\text{В} \cdot \text{лм}^{-1} \right] \\ S_{Up} &= \frac{\Delta U_{вих.}}{P} = S_{Ip} \cdot P_n \left[\text{В} \cdot \text{Вт}^{-1} \right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

де $U_{вих.}$ – зміна вихідної напруги;

R_n – опір навантаження.

Параметри кремнієвих і германієвих фотодіодів помітно залежать від температури навколишнього середовища. З підвищенням її на кожні 10° темновий струм германієвих приладів збільшується в 2, а кремнієвих в 2,5 рази. При цьому чутливість і селективна здатність зменшуються, рівень власних шумів збільшується. При цьому максимум спектральної характеристики зрушується у бік більш коротких хвиль. Зниження температури приводить до протилежних змін.

3.4.2. Вибір спектрального діапазону роботи фотодетектору

Для вибору фотоприймача розглянемо кремнієві фотодіоди, які оптимізовані для роботи в діапазоні ближнього ІЧ-випромінювання. Фотодіоди серії ФДУК-У мають широкий спектральний діапазон.

Розроблені для використання одночасно в ближньому інфрачервоному, видимому, UV, DUV, XUV діапазонах, а також в м'якому рентгені. Спектральний діапазон реєстрованого випромінювання складає 190...1100 нм. Діапазон енергій квантів 1.13...60000 еВ. В таблиці 3.5. описані характеристики фотодіодів серії ФДУК-У виробництва закритого акціонерного товариства «Техноексан»

Таблиця 3.5. Технічні характеристики фотодіодів серії ФДУК-У

Тип ФДУК	Корпус метал, мм	Активна область, мм	S активної області, мм ²	Макс. чутливість λ_{\max} , нм	Чутливість ($\lambda = \lambda_{\max}$) S^λ , А/Вт	Темновий струм. Макс. значення, пА	Темновий струм. Типове значення, пА
100УТ	Ø20x4.3	Ø10	78.5	960	0.55	500	100
100У	Ø20x4.3	Ø10	78.5	960	0.45	500	100

Продовження таблиці 3.5

100УС	Ø20x4.3	Ø10	78.5	960	0.45	800	300
10УТ	Ø20x4.3	Пара 5x5	25 одного	960	0.55	200x2	80x2
2У	Ø16.5x4. 3	Ø7	38.4	960	0.45	400	80
ФДУК- 5УТ	ТО-39 Ø9.2x4.3	Ø7	38.4	880	0.55	100	80
ФДУК- 1УСТ	Ø16.5x4. 3	Ø7	38.4	880	0.28	600	200
11УТ	Ø12.5x4. 3	5x5	25	960	0.55	200	50
8УС	Ø12.5x4. 3	Ø3.2	8	960	0.45	30	0.3

Типові спектральні характеристики кремнієвих фотодіодів серії ФДУК-У наведено на рис. 3.14.

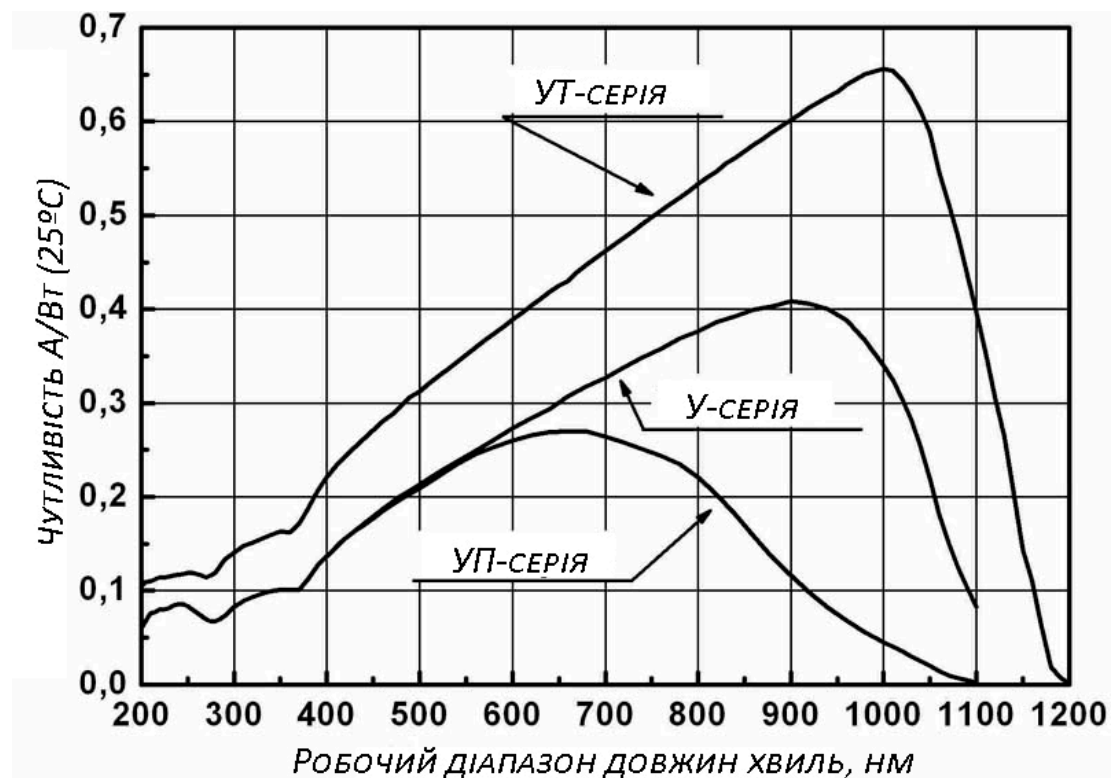


Рис. 3.14 – Типові спектральні характеристики фотодіодів серії ФДУК-У

З огляду на перераховані вище характеристики обираємо кремнієвий фотодіод ФДУК-5УТ, максимальна чутливість якого знаходиться на довжині хвилі $\lambda = 880$ нм. Конструктивні особливості фотодетектору ФДУК-5УТ показано на рисунку 3.15.

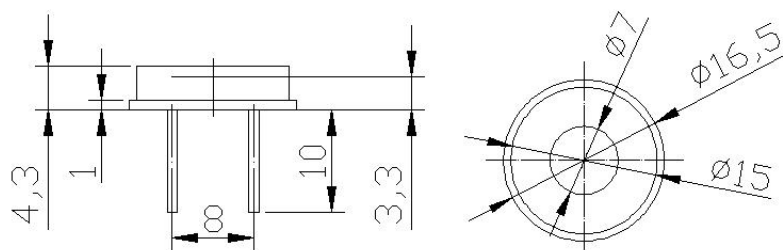


Рис.3.15 Конструкція кремнієвого фотодіода ФДУК-5УТ.

Фотодіод ФДУК-5УТ можна включати у фотодіодному і фотогальванічному режимах. У першому діод зміщається у зворотному напрямку й фотострум є функцією освітленості. У іншому випадку фотодетектор працює в режимі генерації фото-ЕРС. У порівнянні з фотогальванічним, фотодіодний режим володіє рядом достоїнств: зниженою інерційністю, підвищеною чутливістю до довгохвильової частини оптичного спектра, широким динамічним діапазоном лінійності характеристик.

3.5. Обґрунтування та розрахунок параметрів оптичної системи

Оптичними системами в нашому приладі будуть лінзи, які будуть фокусувати випромінювання робочої кювети та порівняльного стандарту на чутливі площини фотодіодів обох каналів. Для виготовлення оптичних деталей використовують оптичне скло безкольорове або кольорове, кварцове оптичне скло та ін. У таблиці 3.6. приведено матеріали, з яких можна виготовляти лінзи [18].

З огляду на приведені вище характеристики матеріалів обираємо Сильвін КСІ – це матеріал виготовлений з безкольорових кубічних кристалів. Світловий діаметр лінзи візьмемо 10 мм, тоді враховуючи кріплення, повний діаметр лінзи буде 12 мм.

Таблиця 3.6. Спектральні характеристики оптичних матеріалів придатних для виготовлення збиральної лінзи [30]

Назва матеріалу	Границя пропускання, мкм	Коефіцієнт пропускання	Показник заломлення	Густина, г/см ³	Т плавлення, °C	Макс. розмір лінзи, мм
KRS-5 (система TlBr+TlJ)	38	0,70	2,63	6,74	420	150..200
KRS-6 (система TlBr+TlCl)	23	0,72	2,35	7,19	423,5	200
Сильвін KCl	21	0,90	1,49	2,0	776	200
Титанат стронцію SrTiO	7	0,75	2,2	5,13	2080	150

Розрахуємо фокусну відстань лінзи [20]

$$f' = \frac{D_{ce}}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (3.9)$$

де D_{ce} - світловий діаметр лінзи;

φ - задньоапертурний кут.

Мінімальні аберації лінзи будуть при $\varphi=20^\circ$. Підставимо числові значення:

$$f' = \frac{10}{2 \cdot 0,364} \approx 13,74 \text{ мм}$$

Використовуючи формулу для розрахунку фокусної відстані, знайдемо радіус лінзи:

$$f' = -f = \frac{r_1}{n-1}; \quad (3.10)$$

де r_1 - перший радіус кривизни (для випуклоплатої лінзи $r_2=\infty$);

n - показник заломлення матеріалу, з якого виготовлена лінза.

З виразу (3.11) отримаємо радіус збиральної лінзи [20]

$$r_1 = f' \cdot (n - 1), \quad (3.11)$$

Провівши підстановку числових значення отримаємо:

$$r_1 = 13,74 \cdot (1,49 - 1) = 6,733 \text{ мм}$$

Згідно розрахункових таблиць проводимо вибір радіуса кривизни лінзи що є найближчим. Далі розраховуємо фокусну відстань відповідно до радіусу що був уточнений. Відповідно до ГОСТ 1807-75 найближчим є значення радіусу $r_1 = 6,730$ мм. Тоді значення фокусної відстані буде складати:

$$f' = \frac{6,730}{0,49} = 13,73 \text{ мм.}$$

З урахуванням першого радіусу кривизни вибираємо товщину лінзи 4 мм. Розраховуємо фокальні відрізки лінзи:

$$Sf = -f = f' = 13,73$$

$$S'f' = \frac{r_1}{(n-1)} - \frac{d}{n} = \frac{6,730}{0,49} - \frac{4}{1,49} \approx 11,05$$

Відомо, що коефіцієнт пропускання розраховується за формулою:

$$\tau_l = (1 - \rho)^2 \cdot \tau_m \quad (3.12)$$

де τ_l - значення коефіцієнту пропускання для розрахованої лінзи,

ρ - показник коефіцієнту відбиття матеріалу лінзи,

τ_m - значення коефіцієнту пропускання для лінзи із певного матеріалу.

Коефіцієнт пропускання лінзи із силвіну KCl τ_m розраховується за формулою [31]:

$$\tau_m = \exp[-k_\lambda \cdot d_l] \quad (3.13)$$

де k_λ - показник що характеризує коефіцієнт поглинання силвіну KCl,

d_l - значення товщини матеріалу лінзи.

Для того, щоб розрахувати k_λ матеріалу підставимо розраховані табличні значення у формулу (3.14) і виразимо k_λ :

$$k_\lambda = \frac{\ln \tau_{\text{табл}}}{d_{\text{табл}}} \quad (3.14)$$

де $\tau_{\text{табл}}$ та $d_{\text{табл}}$ - табличний коефіцієнт пропускання та товщина матеріалу відповідно.

Підставивши значення k_λ в (3.14), отримаємо:

$$\tau_m = \exp \left[-\frac{\ln \tau_{\text{табл}}}{d_{\text{табл}}} \cdot d_l \right] \quad (3.15)$$

Підставивши (3.15) в (3.14), отримає загальний вираз для τ_l :

$$\tau_l = (1 - \rho)^2 \cdot \exp \left[\frac{\ln \tau_{\text{табл}}}{d_{\text{табл}}} \cdot d_l \right] \quad (3.16)$$

Підставимо значення для нашого випадку:

$$\tau_l = (1 - 0,04)^2 \cdot \exp \left[\frac{\ln 0,9}{3} \cdot 4 \right] \approx 80\%$$

Фотоприймач потрібно розташувати відносно осі оптичної системи так, щоб відношення площі, яку освітлює сфокусований лінзою світловий потік ($S_{\text{св.л}}$) та площі світлочутливого шару ($S_{\text{ш}}$) було рівним (рис. 3.15):

$$\frac{S_{\text{ш}}}{S_{\text{св.л}}} = 0,8$$

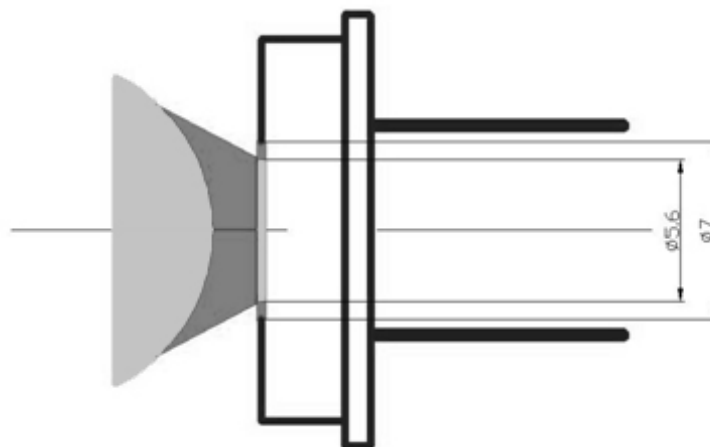


Рис. 3.15 Схема розташування фотодіода

Якщо $S_{ш} = 7 \text{ мм}^2$, то $S_{св.п} = 5,6 \text{ мм}^2$. Тобто, розташовуємо фотоприймач так, щоб світловий потік освітлював 0,8 площі світлочутливої площадки фотоприймача.

3.6. Технічні характеристики світлорозділяючого скла

Для виготовлення світлорозділяючого скла використаємо прозоре в ближній інфрачервоній області скло, на яке нанесемо спеціальне розділююче покриття. Світлорозділюючі покриття призначені для поділу світлового пучка на відбитий і минаючий із заданим співвідношенням інтенсивності.

Візьмемо покриття на основі тугоплавких окислів, виготовлене корпорацією ЕЛАН, шари якого мають мінімальне поглинання та розділяють світловий потік на 2 однакових. Характеристику даного покриття приведено на рисунку 3.11.

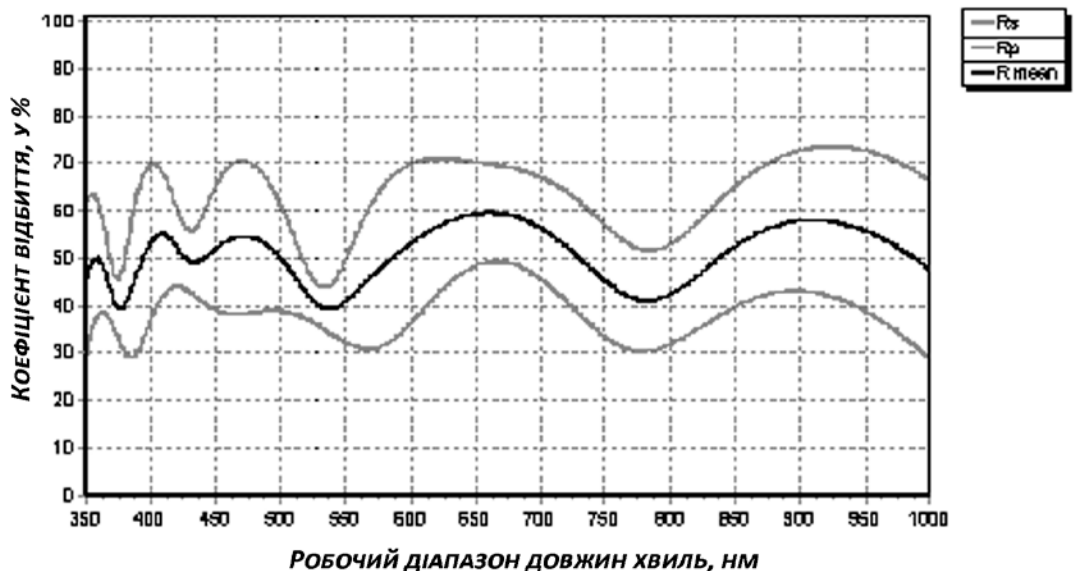


Рисунок 3.16 Світлорозділююче покриття для діапазону 350-950 нм, кут падіння $\alpha = 45^\circ$.

Дане покриття забезпечує нормовані значення світлового потоку, що проходить через оптичне скло та відбивається під кутом $\alpha = 45^\circ$ в залежності від вибраного діапазону довжин хвиль.

3.7. Розрахунок електричних параметрів аналізатору мутності води технологічного призначення

Відповідно до значень вихідного сигналу фотодетектору ФДУК-5УТ потрібно забезпечити сигнал на виході операційного підсилювача на рівні 0,5...4,5 В. Даний діапазон є ефективним для внесення в мікроконтролерний пристрій із мінімальними похибками. Для того, щоб виконати цю вимогу, сигнали з фотоприймачів потрібно підсилювати. Обираємо операційний підсилювач типу AD8601. На рисунку 3.17 показано схему комбіновану структурну попереднього підсилювача AD8601.

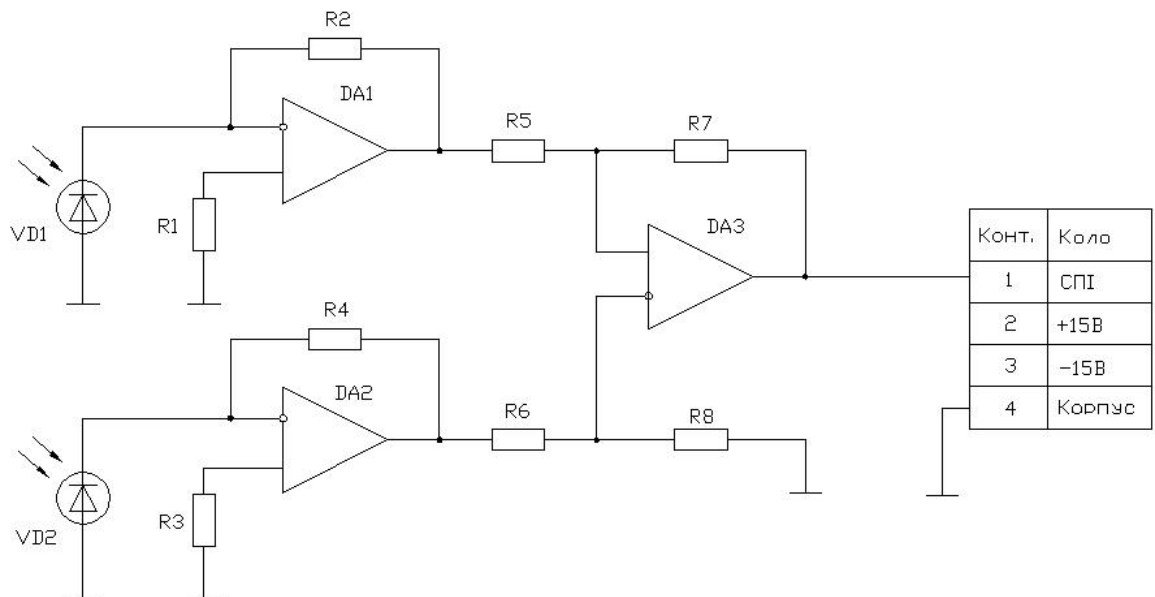


Рис. 3.17 Схема комбінована структурна попереднього підсилювача AD8601.

Шуми фотодіоду робочого каналу компенсуються аналогічним фотодіодом порівняльного каналу.

Схема містить два інвертуючих підсилювача (DA1 і DA2), які працюють як підсилювачі струму фотоприймачів та перетворюють вхідний струм у напругу, і містить один диференціальний підсилювач, вхідним сигналом якого являється різниця напруг з виходів підсилювачів DA1 і DA2.

Напруги, які отримуємо з підсилювачів DA1 і DA2 будуть дорівнювати:

$$U_{DA1} = I_1 \cdot R2 + I_{ш} \cdot R2 \quad (3.17)$$

$$U_{DA1} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 + 600 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^3 = (0,1 + 1,2 \cdot 10^{-6}) \text{ В}$$

Напругу підсилювача DA2 можна знайти за рівнянням:

$$U_{DA2} = I_u \cdot R4 \quad (3.18)$$

$$U_{DA2} = I_u \cdot R4 = 600 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^3 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ В}$$

де I_1 - струм фотодіода ФДУК-5УТ,

I_u - темновий струм фотодіода ФДУК-5УТ.

Коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача дорівнює:

$$K_{\text{диф}} = \frac{R5}{R7} = \frac{10 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} = 10. \quad (3.19)$$

При умові, що $\frac{R6}{R8} = \frac{R5}{R7}$, вхідна напруга на диференціальному підсилювачі буде складати:

$$U_{\text{вих}} = (U_{DA1} - U_{DA2}) \cdot \frac{R5}{R7} = (0,1 + 1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-6}) \cdot \frac{10}{1} = 1 \text{ В} \quad (3.20)$$

Система обробки інформації відповідно до схеми структурної, показаної на рис. 3.1 складається з 2 блоків:

- Фільтр нижніх частот
- Мікроконтролер AT89C5115

На рисунку 3.18 представлена схема комбінована структурна активного ФНЧ другого порядку.

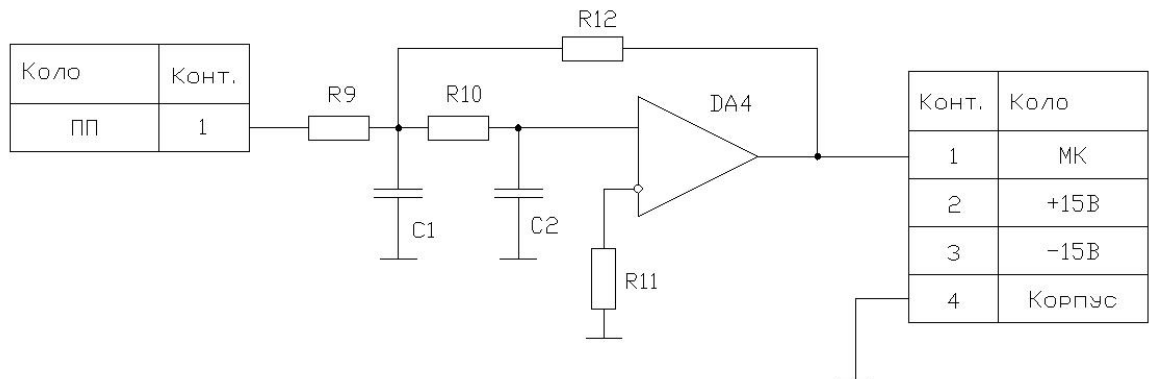


Рисунок 3.18 – Схема комбінована структурна активного фільтру нижніх частот другого порядку

Частота пропускання такого фільтра буде дорівнювати:

$$\omega = \frac{1}{R9 \cdot C1} = \frac{1}{10^3 \cdot 100^{-6}} = 1 \text{ кГц} \quad (3.20)$$

Далі сигнал подається на мікроконтролер AT89C5115 з вбудованим АЦП, який перетворює аналоговий сигнал з ФНЧ на цифровий. Технічні характеристики мікроконтролеру Atmel AT89C5115 наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.8. Технічні характеристики мікроконтролеру Atmel AT89C5115

Назва параметра	Значення
Кількість операцій на секунду, млн.	16
Розрядність АЦП, біт	10
Об'єм постійної пам'яті для програм, Кб	64
Об'єм оперативної пам'яті для даних, байт	512
Напруга живлення, В	3-5,5
Кількість ліній вводу-виводу	32

3.8. Розробка функції перетворення аналізатору мутності

Для складання функції перетворення розглянемо структурну схему (рис. 3.1). Оскільки відомо, що на вході ПВП знаходиться невідома концентрація Δc , а на виході - електричний сигнал у вигляді напруги $U_{вих}$, то можна зробити висновок:

$$U_{вих} = \kappa \Delta c \quad (3.21)$$

де κ - коефіцієнт перетворення ПВП.

Знаючи, що кожен елемент, який входить до ПВП, має свій коефіцієнт перетворення, функцією перетворення можна записати у вигляді:

$$U_{вих} = \Delta c \cdot \Phi \cdot \tau_B^2 \cdot \kappa_K \cdot \tau_{C\Phi\Phi} \cdot \tau_{OC\Phi} \cdot S_{ин} \cdot K_{ин} \cdot K_{cni}, \quad (3.22)$$

де Φ - коефіцієнт перетворення випромінювача, що являє собою його світловий потік;

τ_{3B}^2 - коефіцієнт перетворення вікон кювети;

K_K - коефіцієнт перетворення кювети;

$\tau_{сф\phi}$ - коефіцієнт перетворення світлофільтру фотоприймача;

$\tau_{оc\phi}$ - коефіцієнт перетворення оптичної системи фотоприймача, чутливість приймача вибрано відповідно до паспортних даних на виріб;

S_{in} - коефіцієнт перетворення фотоприймача, що являє собою його інтегральну чутливість.

K_{nn} - коефіцієнт перетворення попереднього підсилювача – не що інше, як його коефіцієнт підсилення.

K_{cni} - коефіцієнт перетворення системи передачі інформації.

Коефіцієнт перетворення кювети буде являти собою енергетичний вихід випромінювання ослабленого водою із зваженими в ній частками та буде мати вигляд.

$$K_K = \frac{S_{Ef}}{S_{Ea}} \quad (3.23)$$

де S_{Ef} - сумарна енергія випромінювання що потрапила на кювету;

S_{Ea} - поглинута монохроматична енергія.

Таким чином, враховуючи попереднє, функцію перетворення можна записати у вигляді:

$$U_{вих} = \Delta c \cdot \Phi \cdot \tau_B^2 \cdot \frac{S_{Ef}}{S_{Ea}} \cdot \tau_{сф\phi} \cdot \tau_{оc\phi} \cdot S_{in} \cdot K_{nn} \cdot K_{СПИ} \quad (3.24)$$

Слід зазначити, що розглянутий приймач ФДУК-5УТ є неселективним і за винятком теплового зсуву має малу залежність чутливості від довжини хвилі реєстрованого випромінювання.

3.9. Оцінка похибок функції перетворення

Для того, щоб оцінити похибки кожного елементу аналізатора необхідно прологарифмувати та продиференціювати функцію перетворення:

$$\ln(U_{вих}) = \ln(\Delta c \cdot \Phi \cdot \tau_B^2 \cdot \kappa_K \cdot \tau_{C\Phi\Phi} \cdot \tau_{OC\Phi} \cdot S_{in} \cdot K_{nn} \cdot K_{cni}) \quad (3.25)$$

$$\ln U_{вих} = \ln \Delta c + \ln \Phi + \ln \tau_B^2 + \ln \kappa_K + \ln \tau_{C\Phi\Phi} + \ln \tau_{OC\Phi} + \ln S_{in} + \ln K_{nn} + \ln K_{cni} \quad (3.26)$$

Після диференціювання отримаємо вираз:

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих}} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta \Phi}{\Phi} + 2 \cdot \frac{\Delta \tau_B}{\tau_B} + \frac{\Delta \kappa_K}{\kappa_K} + \frac{\Delta \tau_{C\Phi\Phi}}{\tau_{C\Phi\Phi}} + \frac{\Delta \tau_{OC\Phi}}{\tau_{OC\Phi}} + \frac{\Delta S_{in}}{S_{in}} + \frac{\Delta K_{nn}}{K_{nn}} + \frac{\Delta K_{cni}}{K_{cni}} \quad (3.27)$$

$$\ln U_{вих} = \ln \Delta c + \ln \Phi + \ln \tau_B^2 + \ln \kappa_K + \ln \tau_{C\Phi\Phi} + \ln \tau_{OC\Phi} + \ln S_{in} + \ln K_{nn} + \ln K_{cni} \quad (3.28)$$

Звідки:

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих}} - \left(\frac{\Delta \Phi}{\Phi} + 2 \cdot \frac{\Delta \tau_B}{\tau_B} + \frac{\Delta \kappa_K}{\kappa_K} + \frac{\Delta \tau_{C\Phi\Phi}}{\tau_{C\Phi\Phi}} + \frac{\Delta \tau_{OC\Phi}}{\tau_{OC\Phi}} + \frac{\Delta S_{in}}{S_{in}} + \frac{\Delta K_{nn}}{K_{nn}} + \frac{\Delta K_{cni}}{K_{cni}} \right) \quad (3.29)$$

Якщо якісно оцінити функцію перетворення, то можна зробити висновок, що найбільшу похибку буде вносити саме кювета, та джерело живлення. Особливістю похибок, спричинених джерелом живлення, у випадку відсутності стабілізації, є вплив на струм та напругу якою живиться фотоприймач, попередній підсилювач та джерело світла. Тому вони будуть вносити похибку в результат вимірювання.

Для забезпечення відносної похибки аналізатору мутності води технологічного призначення на рівні 5% необхідно забезпечити:

$$\frac{\Delta c}{c} = 5\% - \left(\frac{\Delta \Phi}{\Phi} + \frac{\Delta \kappa_K}{\kappa_K} + \frac{\Delta S_{in}}{S_{in}} + \frac{\Delta K_{nn}}{K_{nn}} + \frac{\Delta K_{cni}}{K_{cni}} \right) \quad (3.24)$$

Якщо $\frac{\Delta \Phi}{\Phi} \geq 0,5\%$, тоді стабілізувати джерело живлення

Якщо $\frac{\Delta \kappa_K}{\kappa_K} \geq 2,7\%$, тоді стабілізувати температуру

Якщо $\frac{\Delta S_{in}}{S_{in}} \geq 0,5\%$, стабілізувати температуру, напругу живлення та

робочу напругу;

Якщо $\frac{\Delta K_{nn}}{K_{nn}} \geq 0,3\%$, тоді стабілізувати температуру;

Якщо $\frac{\Delta K_{cni}}{K_{cni}} \geq 1\%$, то стабілізувати систему передачі інформації.

3.10. Метрологічне забезпечення проведення вимірів

Актуальність контролю мутності води технологічного призначення постійно підвищується, існує потреба вхідного контролю сировини як на вході технологічних процесів, так і в процесі виробництва проміжних продуктів із застосуванням води. Гранично допустиме значення мутності води що може застосовуватися у якості вихідної сировини у технологічних процесах харчової промисловості складає 10 одиниць NTU за формазиновим стандартом.

Метрологічним завданням при проведенні вимірювань є збереження і підтримка їх єдності та точності. Дана умова забезпечується при передачу одиниці виміру від зразкового еталону діючому зразку вимірювального приладу. У процесі передачі одиниць вимірів проводиться звірка показань діючого приладу, зразкового стандарту (вторинного) і еталону. Під час проведення метрологічної повірки вторинні еталони проходять звірку в контролюючих органах що виконують метрологічну повірку засобів вимірювальної техніки. На останньому етапі вторинні еталони використовуються для повірки діючого приладу в лабораторних або виробничих умовах [5].

Для забезпечення роботи даної системи необхідна наявність повірочної схеми. Такі схеми використовуються для усіх видів вимірювань. Відповідно до повірочної схеми визначається порядок проходження повірки, субпідрядність засобів вимірювань та допустимі погрішності при передачі одиниць вимірювань від первинного еталону до робочого приладу. Перелік зразкових засобів і вимірювального обладнання залежить від встановленої метрологічної основи вимірювань для конктреного приладу.

За основу градуювання аналізаторів мутності прийнято первинні вимірювальні стандарти формазину у воді що відповідають значенням 0-10 NTU, 10-100 NTU і 100-1000 NTU кожний відповідно до стандарту ДСТУ ISO 7027:2003 Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT).

Забезпечення контролю засобів вимірювання мутності води технологічного призначення у виробничих умовах засобами градування, регулювання і перевірки робить необхідної розробку комплексу стаціонарної і переносної апаратури первинної повірки. Крім того, потрібна розробка і метрологічна атестація фізико-хімічних методик аналізу повірочних розчинів.

Необхідною умовою забезпечення метрологічних характеристик є точне градування вимірювача мутності води технологічного призначення. Градуувальною характеристикою для аналізатора є залежність вихідної напруги вимірювального перетворювача від концентрації зважених у воді часток. За вимірюваним значенням напруги знаходять значення концентрації зважених часток, потім порівнюють його з вихідною величиною зразкового засобу, яким є повірочний розчин (стандарт формазину вибраної концентрації). Для забезпечення правильної передачі розмірів одиниць від вихідних повірочних розчинів вищої точності до робочих аналізаторів, повинен бути установлений визначений порядок, що реалізується за допомогою повірочних схем [25].

Кількість визначаємих точок діапазону, залежить від виду функції перетворення. Відповідно до санітарно-гігієнічних норм ДСТУ ISO 7027:2003, придатною до використання у якості первинної сировини у технологічних процесах харчової промисловості можна вважати воду показник мутності якої не перевищує значення 2,6 формазинових одиниць, або NTU. В даному випадку функція перетворення лінійна тому, щоб провести градування необхідно і достатньо використати 3 точки діапазону: $(0 - 0,1) C_B$ діапазону; $(0,3 - 0,6) C_B$ діапазону; $(0,8 - 0,95) C_B$ діапазону. Таким чином для діапазону (1-100) NTU маємо:

1. $(0,01 - 1,0)$ NTU;
2. $(30,0 - 60,0)$ NTU;
3. $(80,0 - 100,0)$ NTU.

Границя допустимої основної відносної похибки аналізатора повина бути не менше 5% (або 0,05 NTU), тому засоби метрологічного забезпечення повині мати похибку в 2,5 – 3 рази меншу за похибку аналізатора, а саме (0,5 – 1,0%). У якості вихідних повірочних розчинів виберемо стандартні розчини формазину, які застосовує для перевірки аналізаторів фірма Stablcal (turbidity standards) із концентрацією формазину що відповідає значенням мутності <0.1 NTU, 20 NTU, 100 NTU, 800 NTU [11] з відносною похибкою $\pm 0,1\%$.

Тобто, вибрані розчини задовільняють вимоги до засобів метрологічного забезпечення для нашого аналізатора, допустима основна відносна похибка якого $\pm 5\%$. Для даного аналізатора, кювета, в якій знаходиться повірочний розчин, має вигляд запаяної кварцової трубки, к ковпачком з фторопласту.

Аналізатор мутності води технологічного призначення підлягає періодичній повірці з міжповірочним інтервалом 6 місяців.

Таблиця 3.10. Операції, що повинні бути виконані при проведенні повірки

№ п/п	Найменування операції	Номер пункту
1	Підготовка до повірки	п.4
2	Зовнішній огляд	п.5
3	Визначення основної відносної похибки	п.6

Примітка: при негативному результаті кожної з операцій подальша повірка припиняється, аналізатор бракується і відправляється в ремонт.

При проведенні повірки повинні бути застосовані наступні зразкові і допоміжні засоби повірки:

- скляні кювети зі стандартним розчином формазину що відповідає – <0.1 NTU, 20 NTU, 100 NTU з відносною похибкою $\pm 0,1\%$;
- джерело живлення;
- пристрій прийому інформації;
- блок обробки інформації;
- цифровий вольтметр У7–16;

Допускається застосування засобів повірки з аналогічними характеристиками.

При проведенні повірки повинні бути дотримані наступні умови:

- значення температури навколишнього середовища у діапазоні від $+20...25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- дотримання відносної вологості повітря в межах 45...80%;
- виміряне значення атмосферного тиску 84...106,7 кПа;

Зібрати схему повірки відповідно до рис. 4.2. у наступній послідовності:

- зняти кришку аналізатора;
- установити кювету зі стандартним зразком формазину що відповідає вибраному стандарту мутності;
- підключити пристрій прийому інформації, блок обробки інформації та цифровий вольтметр У7-16;
- підключити живлення

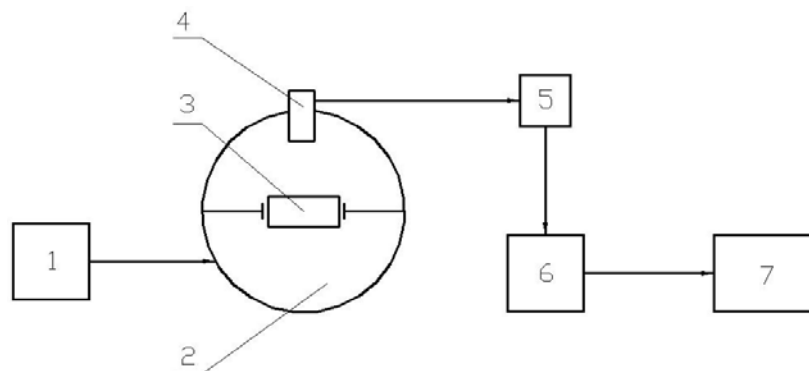


Рис 3.20 – Схема підключення аналізатора мутності для повірки: 1 – блок живлення аналізатора мутності; 2 – аналізатор, що повіряється; 3 – кювета зі стандартним розчином формазину; 4 – пристрій передачі інформації; 5 – пристрій прийому інформації; 6 – блок обробки інформації; 7 – цифровий вольтметр У7-16.

При зовнішньому огляді повинна бути встановлена відповідність аналізатора а наступними вимогами:

- кювета з повірочним розчином повинна бути надійно закріплена, скло кювети чисте;

- корпус аналізатора не повинен мати механічних ушкоджень і ознак його розкриття;

Визначення похибок аналізатору проводять наступним чином.

1. Спочатку підключають аналізатор мутності до схеми повірки та підключають живлення;

2. Візуально контролюють покази та фіксують отримані значення;

Будують/будувати графік функції перетворення та за значеннями вимірної за допомогою цифрового вольтметра У7-16 визначають граничні показники мутності розчину розчину $C_{\text{гран. NTU}}$.

Основну відносну похибку визначити по формулі [5]:

$$\delta = \frac{C_{\text{гран. NTU}} - C_{\text{ном. NTU}}}{C_{\text{ном. NTU}}} \cdot 100\% \quad (3.25)$$

де δ – основна відносна похибка, що допускається;

$C_{\text{гран. NTU}}$ – граничне значення мутності розчину;

$C_{\text{ном. NTU}}$ – номінальне значення мутності розчину відповідно до вибраного опорного зразка.

Номінальне значення вимірювання мутності води технологічного призначення для аналізатору вибраного схемного рішення відповідає стандарту 100 NTU. Аналізатор вважають придатним, якщо основна відносна похибка вимірювання не перевищує $\pm 5\%$.

Результати повірки аналізатора мутності оформляють шляхом запису в паспорт результатів повірки, завірених Державним повіряючим з нанесенням відбитка перевірного клейма.

Висновки до розділу 3

В даному розділі дипломного проекту запропоновано метрологічне забезпечення аналізатора. В якості повірочних розчинів запропоновано використовувати стандартні розчини Stablcal з відносною похибкою $\pm 1\%$. Дані розчини використовує для повірки аналізаторів мутності.

Аналізатор складається з усіх необхідних елементів для збору і передачі даних: первинний вимірювальний перетворювач, підсилювач та аналогово-цифровий перетворювач. Принцип роботи аналізатору оснований на турбідиметричному методі вимірювання мутності води в ближній ІЧ-області довжин хвиль. методі вимірювання.

Перед освітленням досліджуваного зразка випромінюванням від джерела світла світловий потік розділяється на 2 канали: робочий та порівняльний, за допомогою розділюючого скла. В робочому каналі знаходиться проточна кювета з досліджуємою водою, в порівняльному – стандартний розчин формазину вибраної концентрації <0.1 NTU, 10 NTU, 100 NTU. Таким чином, вибравши різницеву схему порівняння отримаємо на виході операційного підсилювача сигнал вимірювальної інформації що буде відповідати максимальному значенню мутності вибраного діапазону вимірювання. В обох каналах розташовано 2 однакових фотодіоди, які мають максимальну спектральну чутливість на довжині хвилі 880 нм. Струми з фотодіодів потрапляють на інвертуючі підсилювачі, які перетворюють вхідний струм у напругу та подають її на диференціальний підсилювач.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»

4.1 Опис ідеї проекту

Мутність технологічних вод викликана присутністю домішок, обумовлених нерозчинними або колоїдними неорганічними і органічними речовинами різного походження. Якісне визначення проводять описово: слаба опалесценція, слаба, помітна і сильна муть.

Відповідно до гігієнічних вимог до якості питної води мутність не повинна перевищувати $1,5 \text{ мг/дм}^3$ по каоліну [3]. Мутність води визначають турбідиметрично (по ослабленню світла що проходить через пробу) шляхом порівняння проб досліджуваної води із стандартними суспензіями. Результати вимірювань виражають в мг/дм^3 (при використуванні основної стандартної суспензії каоліну) або в ЕМ/дм^3 (одиниці мутності на дм^3 при використуванні основної стандартної суспензії формазиу); $1,5 \text{ мг/дм}^3$ каолін відповідає $2,6 \text{ ЕМ/дм}^3$ формазиу. Турбідиметричне визначення призначено для вод, що мають мінливий склад і форму домішок. Якщо пробу заздалегідь не профільтрувати, то турбідиметрично будуть визначені не тільки колоїдні, але і більш грубодисперсні частинки [8].

Показник якості води, що характеризує інтенсивність забарвлення води і обумовлений змістом забарвлених з'єднань; виражається в градусах платиново-кобальтової шкали. Визначається шляхом порівняння забарвлення випробовуваної води з еталонами. Кольоровість природних вод обумовлена головним чином присутністю гумусних речовин і з'єднань тривалентного заліза. Кольоровість природних вод коливається від одиниць до тисяч градусів.

Розрізняють "істинний колір", обумовлений тільки розчиненими речовинами, і "уявний колір", викликаний присутністю у воді колоїдних і зважених частинок, співвідношення між якими значною мірою визначаються

величиною рН. Гранично допустима величина кольоровості у водах, що використовуються для питної мети, складає 35 градусів по платиново-кобальтовій шкалі. Відповідно до вимог до якості води в зонах рекреації забарвлення води не повинне виявлятися візуально в стовпчику води заввишки 10 см. Прозорість (або світлопропускання) технологічних вод обумовлена їх кольором і каламутністю, тобто вмістом в ній різних забарвлених і зважених органічних і мінеральних речовин.

Контроль мутності води за допомогою вимірювального макету на базі турбідиметра що працює в інфрачервоній (ІЧ) області довжин хвиль є дієвим фактором оцінки якості води що використовується у сфері виробництва продуктів харчування.

Як правило, реальну інформацію про метод вимірювання можна отримати тільки вивчивши технічні характеристики приладу. На жаль, практика достатньо довільного маніпулювання позначеннями, що використовуються у сфері вимірювання мутності, характерна не тільки для аналітиків, але і для авторитетних виробників мутномірів. Своєчасний аналіз наявності домішок у рідкій водній фазі дозволяє проводити контроль технологічних процесів у всьому циклі виробництва харчової продукції.

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначити чи наш продукт має шанси вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка розробка методу та апробація засобу контролю мутності води технологічного призначення у сфері харчової промисловості	Визначення інтегрального показника мутності води технологічного призначення що застосовується у сфері харчової промисловості.	Впевненість в якості вихідної сировини для виробництва продуктів харчування
	Вхідний контроль води технологічного призначення відповідно до умов технічної експлуатації виробничого обладнання харчової промисловості	Контроль робочих характеристик виробничого обладнання на вибраних етапах виробництва продуктів харчування

Продовження таблиці 4.1.

	Прогнозування споживчих властивостей харчових продуктів	Нормування експлуатаційних циклів для конкретного типу виробничого процесу
	Дотримання експлуатаційних вимог до застосування води технологічного призначення	Своєчасна очистка води що використовується в конкретному технологічному процесі виробництва харчових продуктів

Основними конкурентами на ринку контролю мутності води технологічного призначення є аналізатори мутності HI93701 (HANNA Instruments), мутномір стаціонарний CyberScan TB 1000 та Turb355IR.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Для формування конкурентоспроможності запропонованого товару на ринку визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї. Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних сторін ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W слаб- ка сто- рона)	N (ней- тральна сторо- на	S (сильна сторо- на)
		Мій проект (аналі- затор мут- ності)	Конку- рент1 (HI9370 1)	Конку- рент2 (Cyber Scan TB 1000)	Конку- рент3 (Turb35 5IR.)			
1.	Вартість приладу, грн	28500	45400	58100	63200	-	-	+
2.	Швидкість встановлення	30-40 хв.	<1год.	<1год.	2-4 год	-	-	+
3.	Вартість обслуговування	1250	3200	2850	3650	-	-	+
4.	Відсоток браку	1	1	0	0	-	+	-
5.	Затрати на виробництво	Високі	Середні	Низькі	Середні	+	-	-
6.	Відносини з органами державної влади	Нейтра льні	Добрі	Нейтр альні	Нейтра льні	-	+	-
7.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-

Отже, пропонується удосконалений метод та апробація приладу визначення мутності води технологічного призначення у сфері харчової промисловості методом ІЧ-турбідиметрії. Під час виробництва харчової продукції важливим є контроль не тільки вхідної продукції, важливим елементом якої є вода технологічного призначення, але і проведення регламентного контролю очисного обладнання та системи водопідготовки, із забезпеченням зворотнього зв'язку. Таким чином, завжди можна знати, чи правильно працює обладнання в технологічному процесі.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методу визначення), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка методу та апробація засобу контролю мутності води технологічного призначення у сфері виробництва харчових продуктів.	Створення технології та апробація засобу контролю води технологічного призначення у сфері виробництва харчових продуктів засобами та методами мас-спектрометрії	Метод відкритий	Метод мало-доступний
2.		Створення технології та апробація засобу контролю води технологічного призначення у сфері виробництва харчових продуктів засобами та методами нефелометрії	Метод відкритий	Метод доступний
3.		Створення технології та апробація засобу контролю води технологічного призначення у сфері виробництва харчових продуктів засобами та методами спектрофотометрії	Метод відкритий	Метод доступний
4.		Створення технології та апробація засобу контролю води технологічного призначення у сфері виробництва харчових продуктів засобами та методами турбідиметрії в ІЧ-області довжин хвиль	Метод відкритий	Метод доступний
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка методики вимірювань мутності води технологічного призначення у сфері харчових технологій та апробація засобу вимірювань що працює за методикою турбідиметрії в ІЧ-області довжин хвиль				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект можна реалізувати за допомогою більшості методів, які доступні на даний момент, але серед доступних нам ми обираємо метод турбідиметрії в ІЧ-області довжин хвиль для реалізації нашої ідеї.

Пропонований вимірювальний засіб має малі габаритні розміри та енергоспоживання порівняно із конкурентними методами наведеними в таблиці 4.3, та є переносним. Вимірювальний прилад містить спрощену оптичну систему, зменшується металоємкість виробу. Вимірювальний засіб може бути відкалібровано для вимірювання показників мутності відповідно до стандартів FTU (formazin turbidity units) та FAU (formazin attenuation unit).

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	285 000 (10x28500)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність патентів та торгової марки, середня конкуренція, високий показник якості обслуговування.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ ISO 7027:2003 Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT)
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	68%

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Удосконалення контролю мутності води технологічного призначення на підприємствах харчової промисловості	<p>1. Підприємства різних форм власності які використовують підготовлену воду у технологічних процесах виробництва харчової продукції.</p> <p>2. Контролюючі лабораторії на підприємствах харчової промисловості</p> <p>3. Підприємства, які проводять первинну водопідговку та очистку води для виробництва харчової продукції</p>	<p>1. Забезпечення стандартів безпеки та якості які встановлюються при застосуванні води у технологічних процесах харчової промисловості</p> <p>2. Після купівлі нашого засобу вимірювань із розробленої методикою його застосування клієнт може якісно проводити контроль води у технологічних процесах виробництва продуктів харчування</p>	<p>- до продукції Невеликі розміри приладу. Можливість проведення досліджень у виробничих умовах Невелика чутливість приладу до зовнішніх чинників. Можливість виведення результатів на комп'ютер. Зрозуміле управління приладом. Значний міжповірочний термін експлуатації.</p> <p>- до компанії-постачальника Відповідність приладу заданим характеристикам. Можливість технічної підтримки при виникненні проблем. Ввідний інструктаж по роботі з приладом.</p>

При купівлі даного продукту клієнт може зіткнутися з певними проблемами. Для їх попередження і швидкого виправлення необхідні створення та доставка якісного приладу, наявність висококваліфікованих працівників для роботи із засобом вимірювань, усунення можливих технічних проблем в роботі вимірювального засобу, навчання персоналу клієнта правилам роботи із вимірювачем мутності та особливостями його роботи. (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною.	Вивчення продукції конкурентів та вдосконалення своєї, для задоволення всіх потреб користувачів.
2.	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3.	Зменшення ємності ринку виробництва продуктів харчування	Може вплинути на коло потенційних покупців.	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4.	Постачання	Проблема із фірмами постачальниками електронних елементів вимірювального макету	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Збої в роботі приладу.	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження підтримки кваліфікованих техніків

Наявність певних загроз реалізації продукції дозволить вдосконалювати прилад та завжди бути в курсі всіх наукових новинок та економічної ситуації в країні. Окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару.	Впровадить технологію і змінить вартість товару.
2.	Попит	Збільшення попиту на товар на ринку.	Збільшення продажів, а відповідно і прибутків компанії
3.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5.	Екологія	Підвищення інформованості людей до води із якої виготовляють харчові продукти	Реклама своєї продукції яка допомагає виявити підприємства які мають попит на товар.

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Олігополія	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9).

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Є 3 конкуренти, які займаються виготовленням даного обладнання	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є інтернет-магазини, які займаються розповсюдженням елементної бази для виготовлення приладу. Диференціація витрат. Концентрація постачальників. Значення розміру поставок	Основними клієнтами є підприємства харчової промисловості Контролюючі лабораторії що займаються аналізом води яка проходить попередню підготовку	Доступні аналоги присутні, але в нашої компанії дуже вигідні цінові пропозиції

Продовження таблиці 4.9

Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над зниження собівартості аналізатору мутності	Високий ризик виходу нових гравців, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. потенційних конкурентів немає	Оскільки доволі багато постачальників, тому вони не диктують умови роботи на ринку.	Для задоволення потреб клієнтів потрібно розробляти нові пропозиції і підтримувати якість продукту.	Потрібно підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентів у перевагу, розроблювали нові види товарів
-----------	--	---	---	---	---

Провівши аналіз факторів робимо обґрунтування конкурентоспроможності. Точна оцінка конкурентоспроможності можлива лише після впровадження приладу, тому робимо лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Підтримка зворотного зв'язку з клієнтами, усунення проблем при проведенні вимірювань, вдосконалення приладу, збільшення попиту на продукт, що в результаті дозволить знизити ціну.
2	Велика кількість постачальників	Наявність приладу та своєчасна доставка продукту клієнту.
3	Висока якість	Висока якість і точність приладу, яка дозволяє клієнту отримувати максимально точний результат вимірювань.
4	Технічна підтримка	Наявність досвідчених спеціалістів, які зможуть швидко вирішити будь яку проблему в роботі приладу.
5.	Наявність патентів	Наявність патенту на приладу, дає споживачу упевненість в тому що він купує сертифікований продукт

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін приладу

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим приладом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	14	+						
2	Велика кількість постачальників	19						+	
3	Висока якість	17				+			
4	Технічна підтримка	19						+	
5.	Ціна	20							+

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при спеціалізованій технічній підтримці аналізатору мутності води та удосконаленні методики його використання, у чим більшій кількості технологічних процесів на харчових підприємствах.

Основною перевагою та головним досягненням є низька ціна продукту порівняно із головними гравцями на ринку та можливість налаштування вимірювача мутності під конкретного клієнта.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Вартість обслуговування;</p> <p>Технічна підтримка;</p> <p>Висока якість;</p> <p>Впровадження нових методи застосування аналізатору мутності;</p> <p>Збільшення кількості підприємств харчової промисловості, як потенційного кола клієнтів;</p> <p>Низька ціна;</p> <p>Простота конструкції;</p> <p>Адаптивна методика застосування.</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Необхідно збільшувати кількість постачальників, оскільки на ринку багато рітейлерів і клієнти мають великий вибір</p> <p>Необхідність реєстрації торгової марки</p> <p>Необхідність патентування продукту.</p> <p>Вимоги до сертифікації вимірювача мутності води технологічного призначення.</p> <p>Складність розширення кола потенційних клієнтів.</p>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зміниться технологія виробництва. 2. Збільшення попиту на товар на ринку. 3. Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва. 4. Може вплинути на купівлю/продаж товару. 5. Підвищення інформованості людей стосовно сировини із якої виготовляються продукти харчування. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною. 2. Зміна курсу національної валюти, за рахунок чого можуть зменшитися продажі 3. Може вплинути на коло потенційних покупців. 4. Проблема з фірмами постачальниками. 5. Систематичні збої в роботі приладу.

На основі SWOT-аналізу (табл. 4.12) розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	6 міс. – 12 міс.
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	18 міс. – 24 міс.
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства харчової промисловості	Зазначатиметься готовністю цільових клієнтів піти на додаткові	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку	Середня	Середні бар'єри входу на ринок

2	Контролюючі лабораторії на підприємствах що займаються аналізом якості води	витрати пов'язані з вдосконаленням вимірювача мутності і методики його застосування та розширення його функціональних можливостей для застосування у додаткових технологічних процесах	економіки взагалі і галузі аналітичних вимірювань у різних сферах виробництва харчових продуктів	Висока	Високі бар'єри входу на ринок
3	Державні установи контролю якості води			Висока	Високі бар'єри входу на ринок
4	Наукові заклади вчені яких проводять дослідження в даній області			Висока	Високі бар'єри входу на ринок
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із підприємствами що займаються виготовленням продуктів харчування					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (табл. 4.14) ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретними сегментами ринку – із підприємствами що займаються виготовленням продуктів харчування

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Надійний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде створено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в контролі мутності води в технологічних процесах харчового виробництва	Отримання результатів про якість води що застосовується в технологічних процесах як вхідна сировина.	Приваблива ціна порівняно із аналогами Постійна технічна підтримка. Безперебійна робота приладу. Систематизація та спрощення обробки результатів досліджень.

Далі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19.Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Розробка методики та апробація засобу контролю мутності води в технологічних процесах харчової промисловості у ІЧ-області довжин хвиль. Можна виділити наступні вигоди використання: вхідний контроль води що застосовується в технологічних процесах харчової промисловост; контроль функціонування вибраних технологічних процесів; точне та своєчасне визначення наявних у воді домішок різної природи, та її відповідність стандартам.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Практичність виробничого виконання (Практичний дизайн)	Нм	Тл
	4.Вартість обслуговування (Низька вартість обслуговування)	Нм	Вр
	Якість: відповідає нормам ДСТУ ISO 7027:2003 Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT)		
	Пакування: прилад в малогабаритному корпусі, малої металоємності із практичним дизайном, запакований в коробку із вказанням функціональності		
Марка: відсутня на момент реалізації приладу			
III. Товар із підкріпленням	До придбання товару, користувач може протестувати прилад на своєму виробництві перед купівлею.		
	Після придбання товару клієнт буд отримувати регулярне технічне обслуговування.		
Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування схемного рішення та принципів роботи.			

Далі визначаємо цінові межі, якими необхідно користуватися при визначенні ціни продукту, щоб він користувався попитом на ринку. При аналізі цінових меж та встановленні ціни необхідно враховувати ціни на прилад, які пропонують конкуренти та доходи потенційних клієнтів. (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	32000 – 84000 грн.	45400 – 63200 грн.	1,5-4,5 млн. грн.	27000 - 30000 грн.

Присутні на ринку аналоги пропонованого вимірювального засобу знаходяться в ціновому діапазоні 45 400 – 63200 грн, тому наш вимірювальний засіб має в 2 рази кращу цінову перевагу ніж аналоги.

Середній дохід цільової групи споживачів становить близько 1,5 млн. грн. у рік, тому пропонований вимірювальний засіб перспективи реалізації на ринку при правильній стратегії розповсюдження та маркетингу.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21).

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Покупка товару один раз	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування та первинне калібрування	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Для зменшення прямих витрат при формуванні системи збуту аналізатору мутності планується залучення ресурсів мережі інтернет.

Для збільшення продаж планується консультування потенційних покупців стосовно призначення вимірювача мутності та сфери його застосування у технологічних процесах конкретного клієнта.

Слідуючим пунктом є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл.4.22).

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Необхідність контролю мутності води в технологічному процесі виробництва харчової продукції	Мережа інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	Спеціалізовані виставки Профільні сайти вимірювального обладнання	Проінформувати клієнта про те, що за допомогою приладу стає можливим якісне визначення наявних у воді домішок та її відповідність санітарно-епідеміологічним нормам	Хочете забезпечити ефективний контроль води на підприємстві? – Ми знаємо як Вам допомогти! Вас часто відвідують контролюючі органи санітарно-епідеміологічного контролю – ми допоможемо Вам налагодити процес підготовки води у Вашому технологічному процесі!
2	Вхідний контроль води для реалізації технологічних процесів конкретного клієнта				
3	Зменшення витрат на експлуатаційне обслуговування водоочистного обладнання на підприємстві			Надати клієнту інформацію про можливість налаштування аналізатору мутності для конкретного переліку технологічних процесів виробництва харчової продукції	

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стану ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

4.6 Висновки до розділу

Під час аналізу інформації про доступні на ринку вимірювачі мутності води що застосовується у технологічних процесах виробництва харчової продукції було встановлено, що результат вимірювань приладів залежить від конструктивних особливостей вимірювача та методики обробки результатів вимірювань. Багато розглянутих вимірювальних засобів та систем мають високі вимоги до кваліфікації персоналу та ціну технічного обслуговування у процесі експлуатації.

Пропонований нами вимірювальний засіб, та розроблена для нього методика аналізу наявних у воді твердих домішок придатна для застосування у виробничих конкретного замовника, та забезпечує якісний аналіз води що є вхідною сировиною у технологічних процесах харчової промисловості.

Так як на ринку є присутні аналоги продукту із зареєстрованими товарними марками, системою ритейлерів, та налагодженими каналами збуту – бар'єр входження на ринок є досить високим.

Для успішного виходу на ринок та зацікавленості потрібно надати нашому продукту властивості які будуть його якісно відрізняти від конкурентів. До таких властивостей можна віднести ціну, час первинного налагоджування на об'єкті замовника та значно менші затрати на експлуатацію порівняно із аналогами що присутні на ринку. Але для підвищення вірогідності продаж нашого продукту є доцільним удосконалення програмного забезпечення для автоматизації реєстрації вхідних вимірювальних сигналів та відображення їх на ЕОМ в графічному вигляді.

На даний момент, розглянутий аналізатор мутності є конкурентоспроможним товаром на ринку. Провівши детальний аналіз стартап проекту, можна зробити висновок, що даний продукт буде цікавий потенційним клієнтам і має хорошу можливість ринкової комерціалізації.

Для забезпечення продаж вимірювального засобу та удосконалення методики його застосування необхідно проводити інформування потенційних клієнтів. Доцільно проведення презентації результатів проекту серед цільової групи користувачів на виставках аналітичного обладнання у сфері виробництва продуктів харчування. Також, для просування продукту на ринку, планується участь у наукових конференціях із демонстрацією роботи приладу.

Так як засіб контролю мутності води є мілкосерійним (до 10 од. в рік) для ринкової реалізації проекту можна обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет для одного сегменту ринку (підприємства харчової промисловості). Після закріплення на ринку доцільно починати шукати клієнтів в інших сегментах та розширювати канали збуту.

ВИСНОВКИ

У рамках роботи над дипломним проектом магістра було вирішено наступні завдання та обґрунтовано твердження:

1. Проведено дослідження фізико-хімічного складу води як дисперсної виміральної фази. Каламутність води може утворюватися завдяки наявності в воді органічних та неорганічних завислих речовин або колоїдних часток. Єдиним дієвим методом в боротьбі з мутністю є фільтрація.

2. Розглянуто стандарти мутності придатні для контролю води технологічного призначення та застосування різних одиниць мутності води, особливості методик вимірювання мутності води за різними стандартами. Для контролю мутності води технологічного призначення придатні методики: американська, Standard Method 2130, Європейська- ISO 7027 та стандарт ДСТУ ISO 7027:2003 «Якість води. Визначання каламутності».. Дані методики розроблено для роботи з пробами води з низькою мутністю і малим впливом забарвлення. На даний момент часу переважаючими одиницями виразу мутності води є одиниці мутності NTU.

3. Визначено інформативні складові випромінювання в методиці фотометрії водних розчинів та основні засади розсіювання і поглинання світлового потоку. Розсіювання і поглинання світлового потоку представляє собою динамічний процес перетворення випромінювання при взаємодії з середовищем в інформативне випромінювання. У випадку нефелометричних вимірювань застосовується закон Релея (закон світлорозсіювання). Якщо використовується турбідиметричне вимірювання мутності використовується основний закон світло поглинання (закон Бугер-Ламберта-Бера).

4. Обґрунтовано доцільність розробки аналізатору мутності води технологічного призначення придатної для застосування у сфері виробництва продуктів харчування. Проведено аналіз складових компонентів вимірювача. Розроблено та обґрунтовано структурну та функціональну схему роботи вимірального засобу. У випадку застосування оптичного кількісного

аналізу мутності води технологічного призначення, найбільш інформативним оптичним методом контролю мутності води на просвіт є діапазон ближнього ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі λ близько 880 нм. Вплив кольору води на цій довжині хвилі значно зменшується. Таким чином стає можливим просвітлення шару водного середовища із забезпеченням необхідної чутливості вимірів.

5 Зроблено огляд методик контролю мутності води сучасним вимірювальним обладнанням. Розглянуто технічні характеристики аналогів оптичного аналізатору визначення мутності та їх схемні рішення. Вибрано конструкцію аналізатора вимірювання мутності води технологічного призначення за методикою турбідиметрії. Для забезпечення вимірювань мутності води запропоновано різницеву схему вимірювання що містить 2 вимірювальних канали (основний і порівняльний) підключені до загального операційного підсилювача, що проводить диференційне зрівняння результатів вимірювань.

6. Зроблено аналіз напівпровідникових світлодіодів в ближній ІЧ-області довжин хвиль, їх технічних характеристик та принципів роботи, для застосування у якості джерела випромінювання аналізатору мутності. Вибрано напівпровідниковий ІЧ-світлодіод Vishay TSHA5201 із піком випромінювання на довжині хвилі $\lambda_{\max} = 875 \pm 5$ нм. у якості джерела світла.

7. Обґрунтовано вибір фотодетектору придатного до використання у якості первинного перетворювача вимірювального макету для контролю зважених у воді включень. Вибрано фотодіод ФДУК-5УТ із максимальною чутливістю λ_{\max} , 880 нм. Проведено розрахунок електричних параметрів на виході фотодетектору та влючення операційного підсилювача типу AD8601.

8. Вибрано складові елементи оптичної системи вимірювача мутності води технологічного призначення та розраховано їх характеристики. У якості матеріалу лінз вибрано сильвін KCl. Діаметр лірз вибрано 10 мм. Розраховано оптичні параметри лінз. Повний діаметр лінзи із врахуванням кріплення склав 12 мм.

У вимірювачі забезпечено можливість встановлення світлофільтрів із вузькою смугою пропускання ($\lambda_{\text{пр}} = \lambda_{\text{max}} \pm 2,5 \dots 5 \text{ нм}$) що забезпечують якісні аналітичні вимірювання води за присутності барвників та селекції домішок у водній дисперсній фазі. У випадку прямого кількісного аналізу у всьому робочому спектрі джерела випромінювання (вимірювання мутності на просвіт), світлофільтри можна вилучити, для зменшення втрат у оптичній системі вимірювача.

9. Розроблено функцію перетворення аналізатору мутності. Оцінено похибку вимірювального засобу та розглянуто методику калібрування вимірювача мутності води технологічного призначення із використанням стандартів мутності фірми Stablcal (turbidity standards) із концетрацією формазину що відповідає значенням мутності $<0.1 \text{ NTU}$, 20 NTU , 100 NTU .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 ч. Ч. 2. Физико–химические методы анализа: Учебник для химико–технологических спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
2. Долгов В.В., Ованесов Е.Н., Щетникович К.А. Фотометрия в лабораторной практике. М.: Медицинская академия последипломного образования, 2004. – 142 с.
3. Другов Ю.С., Муравьев А.Г., Родин А.А. Экспресс-анализ экологических проб. БИНОМ, 2013. – 425 с.
4. ДСТУ ISO 7027:2003. Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT) / [Електронний ресурс] – http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=57251
5. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювання. – Ів–Фр.: Факел, 2002– 400 с.
6. Колтовой Н.А. Структура и свойства воды. М.: 2017. – 380 с.
7. Коньк О.А., Шахова Т.В. Контроль качества воды и атмосферного воздуха. Учебное пособие – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной институт (СЛИ), 2018. – 142 с.
8. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Т. 3. Физико–химические методы анализа.— М.: Химия, 1970.—471 с.
9. Кроткова Б.И., Блуфштейн М.М. (сост.) Инструкция по определению физико–химических и технологических показателей качества воды и реагентов, применяемых на водопроводах. М.: Стройиздат, 1973. – 257 с.
10. Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф. Химия воды. – К.: Вища школа, 1983 – 239 с.
11. Лісафін В.П. Очисні споруди. Охорона довкілля. – Ів–Фр.: ДОПФДНТУНГ, 1999– 92 с.

12. Марукович Е.И. (ред.) Оптико-волоконная мутнометрия технических сред и масел. Марков А.П., Марукович Е.И., Сергеев С.С., Строчкий И.М. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 287 с.
13. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами –е изд. – СПб: Крисмас+, 2009. – 248 с.
14. Муравьев А.Г.(ред.) Руководство по анализу воды. Питиевая и природная вода, почвенные витяжки. Практическое руководство. – СПб.: «Крисмас+», 2011. – 264 с.
15. Мусакин А.П., Рачинский Ф.Ю., Суглобова К.Д. Оборудование химических лабораторий. Справочник. – Л.: Химия, 1978. – 480 с.
16. Шуберт. Светодиоды. Перевод с английского под редакцией А.Э. Юновича. Москва: Физматлит, 2-е издание. 2008. 496 с.
17. Никитина Л.И. (ред.). и др. Определение качества воды по биологическим, физическим и химическим показателям. Сб. лабораторных работ. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 78 с.
18. Отто М. Современные методы аналитической химии (в 2-х томах). Том1. – М.: Техносфера, 2003. – 416 с.
19. Полеев М.Э. Аналитическая химия. М., – Медицина, 1974 г. – 192 с.
20. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. 2-е издание перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 360 с. ил.
21. Практикум по аналитической химии: Учеб. пособие для фармац. ин-тов и фармац. фак. мед. ин-тов. Пономарев В.Д., Иванова Л.И., Самокиш И.И. и др./Под ред. В.Д. Пономарева, Л.И. Ивановой. – М.: Высш. шк., 1983. – 271 с.
22. Практическое руководство по физико-химическим методам анализа./ Под ред. И. П. Алимарина, В.М. Иванова. – М.: Изд. Московского университета. 1987. – 205 с.
23. Приборы, применяемые для нефелометрических и турбидиметрических измерений. ВятГУ, Киров, «Биотехнология», 2010. – 108 с.

- 24.Расчет электронных схем. Примеры и задачи/Г.И. Изварюва и др. М.: Высшая школа,1987 – 315 с.
- 25.Резников А.А. Методы анализа природных вод. – М.: Недра, 1970 – 488 с.
- 26.Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. Учебник для вузов. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Высшая школа, 1987. – 239 с.
- 27.Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно – усилительные устройства. Справочник радиолюбителя.– К.: Наукова думка, 1982 – 671 с.
- 28.Федорченко С.В., Хацевич О.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з аналітичної хімії (ФХМА). Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2014. – 173 с.
- 29.Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник.– 3–е изд., перераб. и доп.– М.: Издательство «Протектор», 2000.– 848 с.
- 30.Пихтин. Квантовая и оптическая электроника. Санкт-Петербург: Абрис, - 2012. – 656 с.
- 31.Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. Перевод с франц. под ред. О.Н. Ермакова. – 2-е изд. – М.: Техносфера, 2004. – 592 с.
- 32.Хохрякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка. Справочник. – Под ред. С.Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.: ил.